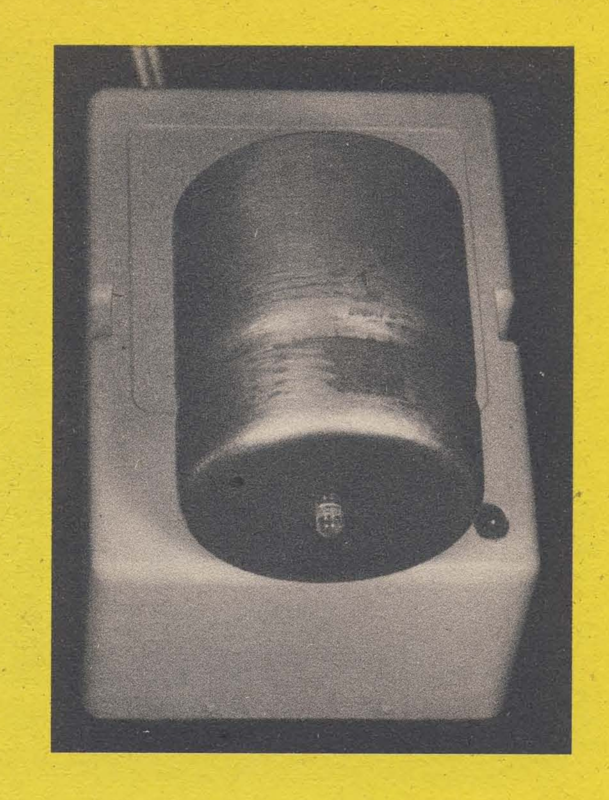


Bauplan 60

Klaus Schlenzig

Licht-Mosaik



Inhalt

1. Einleitung
2. Informationsträger Licht
3. Licht schützt Leben
4. Licht als Regler
5. Unsichtbares Licht
6. Licht und Schall
6.1. »Analoger« Lichtsender
6.2. »Analoger« Lichtempfänger
7. »Drahtloser« Kopfhörer
8. Digitale Schranke
8.1. Digitaler Lichtsender
8.2. Übertragungsprinzip
8.3. Lichtempfänger mit Warnsignal
8.4. Selbsthaltung auf Wunsch
8.5. Neuer Partner: Piezoschwinger
9. Miniaturschranken
10. Lichtklingel
10.1. Grundschaltung
10.2. Nullspannungsschalter
10.3. Periodische Lichtklingel
10.4. Periodische Lichtklingel mit Signalverlängerung
11. typofix-Folie und Stücklisten

1. Einleitung

Licht gewinnt als Informationsträger zunehmend an Bedeutung. Ein Sortiment lichtemittierender und lichtempfangender Bauelemente steht den zahlreichen Nutzern zur Verfügung. Die Anwendungen reichen von der »klassischen« Lichtschranke über die kupfersparende Glasfaser-Breitbandübertragung bis zum »sehenden« Roboter. Infrarotdioden, Fotodioden, Fototransistoren und Fotowiderstände (für langsame Einsatzfälle) sind auch für den Amateur greifbar.

In diesem Bauplan werden einige einfachere Beispiele dieser Technik in nachbaugerechter Form vorgestellt. Der Leser erhält damit ein kleines Sortiment Leiterplatten, mit denen sich sowohl digitale als auch analoge Lichtübertragungsstrecken realisieren lassen. Die erreichbaren Entfernungen hängen dabei von mehreren Faktoren ab:
- Wirkungsgrad der Sendediode
- zulässige Sendeleistung
- Empfindlichkeit des Empfängerbauelements
- Bündelung des Lichts vom Sender her und (oder) auf den Empfänger hin
- Fremdlichteinflüsse
- mechanische Stabilität der Anordnung
- zu erzielende Wirkung.

Mit dem Nachbau der elektrischen Baugruppen steht der Leser also erst am Beginn der möglichen Nutzung dieser Objekte für vielfältige Einsatzfälle. Sie sollen und können dabei z. B. industrielle Infrarotsteuerungen weder ersetzen noch überflügeln.

Bereits die breite Angebotspalette des Handels hinsichtlich der Bauelementedaten verhindert meist exakte Voraussagen zum Erreichbaren. Außerdem werden Freizeitelektroniker kaum über entsprechende Meßmittel oder auch die nötige Muße verfügen, objektive Messungen an den ihnen zufällig verfügbaren optoelektronischen Bauelementen vorzunehmen.

Im Vordergrund steht also praktischer Einsatz mit dem Reiz, durch geschicktes Ausnutzen mechanischer Fertigkeiten und optischer Grundgesetze das Gebaute bestmöglich zu nutzen.

Zum Thema »Licht« werden in diesem Bauplan auch die noch an elektronisch gesteuerten Lampen Interessierten nicht zu kurz kommen. Im Mittelpunkt steht dort eine »Lichtklingel« für Hörbehinderte bzw. für Kopfhörer benutzende Musikliebhaber. Sie enthält einige Schaltungsdetails, die für andere Anwendungen ebenso interessant sein dürften.

2. Informationsträger Licht

Neben Schall ist Licht einer der wichtigsten Mittler zwischen der Umwelt und dem Menschen. Ohne Lichtwellen kein optisches Bild auf der Netzhaut des Auges, also letztlich auch weder Fernsehen noch Bücher. Schall ersetzt Menschen ohne Augenlicht diese Informationsfülle leider nur unvollkommen. Das sichtbare Licht wird von den Gegenständen je nach deren Oberflächenstruktur und Farbe unterschiedlich reflektiert oder auch »verschluckt«. Was zum Auge gelangt, macht die Information über diesen Gegenstand aus. Die Empfindlichkeitskurve des Auges erinnert an die Resonanzkurve eines Filters. Grün und Gelb liegen bei großen Empfindlichkeitswerten, auf Ultraviolett und Infrarot reagiert das Auge nicht mehr mit Bildeindrücken. (Dennoch können große Intensitäten dieser Wellenlängen gefährlich werden!)

Inzwischen hat sich der Mensch »elektronische Augen« geschaffen, die auf diese Wellenlängen ansprechen. Typische Infrarotempfänger sind z. B. Fotodioden und Fototransistoren.

Licht setzt sich aus Schwingungen hoher Frequenzen zusammen. Sie liegen weit oberhalb der Bereiche elektromagnetischer Wellen, wie sie z. B. in der Funktechnik genutzt werden. Ohne es in diesem Rahmen näher erläutern zu können, sei folgendes festgestellt: Ein Schwingungszug hoher Frequenz läßt sich als »Träger« für Informationen nutzen, die von niedrigerer Frequenz sind. Ein »klassischer« Mittelwellensender z. B. von 1 MHz Senderfrequenz übermittelt uns Sprache und Musik mit Frequenzen, die nur etwa 1 % dieser Frequenz ausmachen. Zwischen 1 und 2 MHz kann man darum – vereinfacht ausgedrückt – 100 solcher Sender unterbringen, die alle Informationen übermitteln. Es kommt nur darauf an, die gewünschten wieder herauszufischen. Man muß also seinen Empfänger auf diesen Träger abstimmen. Inzwischen sind die nutzbaren Frequenzen vom Mega- in den Gigahertzbereich vorgedrungen. Statt nur Sprache und Musik mit einer maximal nötigen »Bandbreite« von 20 kHz bei Amplitudenmodulation oder von wenigstens 150 kHz bei der störfesteren Frequenzmodulation werden bewegte, farbige Bilder übertragen. Sie beanspruchen je nach Auflösung bis zu 15 MHz. Mit Trägern im Gigahertzbereich ist es aber möglich, wiederum eine ganze Reihe solcher Sender »nebeneinander« arbeiten zu lassen.

Nutzt man nun Lichtwellen auf gleiche Art, so gelangt man zu noch günstigeren Verhältnissen. Das bezieht sich hauptsächlich auf die Weiterleitungsart. Zunehmend wird bekanntlich »verkabelt«. Das heißt: Weg von der Antenne als störempfindlichem Aufnehmer, heraus aus dem Empfangsschatten und den Geisterbildern der Hochhäuser. Doch die Übertragung so hoher Frequenzen auf herkömmliche Art erfordert aufwendige Kupferkabel ganz spezieller, teurer Gestaltung. Daher gehört die Zukunft der kabelgebundenen Kommunikation mit all ihren faszinierenden neuen Möglichkeiten dem Lichtleiter – dem Glasfaserkabel. Hier löst das Licht als höchstfrequenter Informationsträger sozusagen den elektronengebundenen Wechselstrom ab.

Soweit zu den Möglichkeiten des Lichts in der Informationstechnik. Am Beginn und am Ende einer Lichtleitfaser aber steht wieder »richtige« Elektronik: Lichtsender und Lichtempfänger auf Halbleiterbasis. Die Sender werden mit elektrischen Wechselspannungen betrieben, und die Empfänger geben die Informationen in dieser Form wieder ab, zum »üblichen« Weiterverarbeiten. Doch all das hatte einmal einfach begonnen und erschloß dennoch bereits interessante Einsatzgebiete. Um solche Möglichkeiten geht es im folgenden.

3. Licht schützt Leben

Die Überschrift ist für 2 ganz unterschiedliche Einsatzgebiete der »einfacheren« Nutzung von Licht in der Elektronik zu sehen: Für Lichtschranken z. B. an gefährlichen Maschinen und für das berührungssichere Ein- und Auskoppeln von Steuerinformationen bei Systemen mit Netzspannung.

Je stärker die Elektronik mit ihren fast unbegrenzten Möglichkeiten auf Leistungskreise Einfluß nimmt, um so häufiger sieht sich der Elektroniker gefährlichen Spannungen gegenüber. Große Leistungen können nun einmal nur mit Strömen vernünftiger Größenordnung (was den Leitungswiderstand betrifft) umgesetzt werden, wenn man eine genügend hohe Spannung benutzt. Sie zu steuern, also die Energie sinnvoll dosiert einzusetzen, erfordert spezielle Leistungsbauelemente. Zu den elektromechanischen

Bauelementen der »Gründerzeit« (Schalter, Relais, Transformatoren, Motoren und Generatoren) traten gesteuerte Halbleiterbauelemente. Sie brauchen Steuerelektronik, und die wiederum hat zunehmend Computerbasis. Diese hochempfindlichen Schaltungen, was Störimpulse und Spannungsschwankungen allgemein betrifft, werden aus stabilisierten, mit Störschutzfiltern in Richtung Netz ausgerüsteten Stromversorgungsbausteinen betrieben. Sie sollen zwar dem Leistungskreis die gewünschte Reaktion vorschreiben, dürfen aber durch keinerlei Rückwirkung »bedroht« sein. Eine Fehlfunktion einer großen Anlage kann teuer werden. Nicht zu ersetzen wäre das Leben des mit der Steuerelektronik in Berührung kommenden Technikers.

Transformatoren waren und sind die augenfälligsten und wichtigsten Bauelemente der Leistungselektronik, wenn es darum geht, elektrische Stromkreise berührungssicher zu trennen. Die Umsetzung der in die Primärwicklung hineingesteckten elektrischen Energie als Wechselstrom in ein magnetisches Wechselfeld, das im Sekundärkreis wieder einen Wechselstrom verursacht, ist eine ausgezeichnete Lösung. Sie erfordert aber Kupfer, schwere Eisenkerne und eine Menge Platz. Es wäre heute wenig sinnvoll, berührungssichere Eingänge von steuerbaren elektrischen Anlagen mit solchen Transformatoren zu realisieren. Zwar kann man sich bezüglich Sicherheit auf sie verlassen, wenn beim Bau die einschlägigen Vorschriften beachtet werden. Doch ein Transformator ist ein umkehrbares Gebilde. Er trennt zwar die beiden Stromkreise »galvanisch« (bezüglich Gleichstrom), kann aber Energie in beiden Richtungen weitergeben. Störimpulse gelangen darum auch zurück zur Steuerschaltung. Ein weiterer Nachteil liegt darin, daß sich höhere Frequenzen nur mit speziell ausgelegten Typen übertragen lassen. Moderne Steuerelektronik arbeitet aber bisweilen sogar mit Impulsfrequenzen von einigen Megahertz! Unter heutigen Voraussetzungen hat sich darum eine Gruppe rein elektronischer Bauelemente durchgesetzt, die man Optokoppler nennt. Es gibt sie in zahlreichen Bauformen und für unterschiedliche Spannungsfestigkeiten und Übertragungsdaten. Allen gemeinsam ist das in Bild 1 skizzierte System. Diese einfach anmutende Darstellung enthält eine ganze Reihe von Informationen. Zunächst zum Prinzip:

Ein Lichtsender (als Lampe angedeutet) wird mit dem »Signal« (einem Rechteckimpuls) zum Leuchten gebracht. Da er träge reagiert, hat der entstehende Lichtimpuls bereits das Aussehen des Ausgangssignals. Dieses Signal entsteht in dem noch ganz neutral als Kästchen dargestellten Lichtempfänger, wenn er beleuchtet wird. Da auch er eine gewisse Ansprechträgheit hat, liefert er die dargestellte »Impulsantwort«. Doch es gibt ja Impulsformer, z. B. Schmitt-Trigger. So kann das Endergebnis doch wieder dem Eingangssignal recht nahekommen (Bild 2).

Beide Skizzen sind stark vereinfachte Wiedergaben der Realität. Das beginnt beim Lichtsender. Allgemein üblich sind heute Infrarotlichtemitterdioden (»Leuchtdioden«) als Lichtsender. Sie kommen mit kleinen Steuerleistungen aus, die viel niedriger liegen als die von Glühlampen. Gänzlich ungeeignet wären jene ohnehin, sobald man den fast statischen Betrieb verläßt, wo nur ganz langsame Schaltfolgen auftreten. Leuchtdioden dagegen übertragen Lichtimpulsfolgen auch im Megahertzbereich.

Auf der Empfangsseite befindet sich ein dem Sender ähnliches Bauelement – eine Fotodiode oder (verstärkend, aber viel »langsamer«) ein Fototransistor. Diese Kombination ist bis zu Übertragungsfrequenzen von etwa 50 kHz besonders günstig, denn der Wirkungsgrad beider Seiten hat im gleichen Frequenzbereich (Infrarot) sein Maximum.

So entstand schließlich die typische Optokoppler-Grundausführung nach Bild 3 für den Fall eines Fototransistors auf der Empfangsseite. Abstand und lichtdurchlässige Isolation zwischen beiden Bauelementen sind so gewählt, daß bei Optokopplern zur Netztrennung (220-V-Netz) Prüfspannungen von 4000 V oder mehr angelegt werden können. Ein solcher einfacher Optokoppler liefert nur wenig Ausgangsstrom. 1 mA bedeutet schon einen relativ hohen Wert. Da auch die Spannungsfestigkeit des Transistors begrenzt ist, bleibt für die Weiterverarbeitung des Signals bezüglich Arbeitswiderstand wenig Spielraum. Wo es darauf ankommt, auch analoge Informationen zu übertragen, also z. B. Sprache, muß anders verfahren werden.

Das Problem der naturgetreuen Übertragung ähnelt stark dem schon beim Transistor-NF-Verstärker gegebenen. Man muß in einem Bereich der Steuerstrom-/Ausgangsstromkennlinie arbeiten, der am Arbeitswiderstand zu einem möglichst wenig verzerrten Signal führt, also in relativ engen Grenzen. Überwiegend sind aber Optokoppler Mittler von digitalen, also Schaltinformationen. Optokoppler mit einem Fototransistor, dessen Basis zum Einstellen eines günstigen Arbeitspunktes herausgeführt ist, eignen sich für Analogübertragungen gut. Beispiel: Optokoppler *MB 104* (Bild 4).

4. Licht als Regler

Optokoppler sind auch ohne Anwesenheit gefährlicher Spannungen von Interesse. Kompliziertere Elektronikschaltungen lassen sich besser beherrschen, wenn man an bestimmten Signalübergabestellen von rückwirkungsfreien Optokopplern Gebrauch macht (vgl. z. B. Abschnitt 10.!). Hier schließt sich gleichzeitig der Kreis zum Einfachen. Und eine solche einfache, doch bisweilen recht nützliche Anwendung sei im folgenden beschrieben. Sie bleibt jedoch mehr ein Beispiel, denn gerade in diesem Anwendungsfall kommt man auch ohne völlige Trennung von Steuerkreis und gesteuerter Schaltung aus. Dann sind lediglich andere geeignete Bauelemente zu benutzen.

Bild 5 geht auf die Urform des Optokopplers zurück. Eine Glühlampe beeinflußt mit ihrer Helligkeit den Widerstandswert eines Fotowiderstands. Das geht nicht übermäßig schnell, reicht aber für diesen Einsatzfall. Fügt man nämlich den Fotowiderstand in einen NF-Verstärker ein, so läßt sich damit die Lautstärke der Wiedergabe in einem sehr großen Bereich fernsteuern. Erhält der Lampenkreis eine Zeitfunktion, so wird das Ganze zur Hilfe beim Einschlafen: Langsam wird die eingestellte Musik immer leiser, bis sie ganz verstummt. Am Morgen könnte man, mit einem Wecker mit Schaltausgang gekoppelt, Umgekehrtes veranlassen – gerade recht für hartnäckige Langschläfer. Auch manches bis dahin hart schaltende Weckradio läßt sich so veredeln. Im Bauplan 54 wurde ein Eigenbau-Kleinempfänger beschrieben, der um eine solche Schaltung ergänzt werden kann. Das Wichtigste daraus sei im folgenden wiederholt.

Die von der NF-Quelle in Bild 6 gelieferte Spannung wird einem Spannungsteiler zugeführt, dessen Teilerverhältnis eine Funktion der Zeit ist. Die Zeitspanne beginnt jeweils nach Loslassen der kurz zu drückenden Starttaste S1. Damit hat man den Kondensator auf U_S aufgeladen. Die Spannung an ihm, vermindert um die Basis-Emitter-Spannungen beider Transistoren, bildet sich am Lastwiderstand ab, zu dem die Lampe gehört. Die gewählte Dimensionierung führt zu etwa 5 Minuten Entladezeit des Kondensators auf 0,7 U_S. Mit einem Stellwiderstand, der sich zwischen K und A anschließen läßt, kann man bei Bedarf die Zeit einstellen. S2 ermöglicht das Abschalten nach kürzerer Zeit.

Die nach einer e-Funktion verlaufende Entladung des Kondensators entspricht der Forderung, daß sich die NF-Amplitude im 1. Teil der »Schlummerzeit« schneller verringert als in den weiteren Zeitabschnitten. Dem zwischen Höreindruck und NF-Amplitude annähernd logarithmischen Zusammenhang wird damit Rechnung getragen, dadurch scheint die Musik gleichmäßig leiser zu werden. Die Spannung an R_L treibt also durch die Lampe einen zunächst schneller abnehmenden Strom. Dem wirkt entgegen, daß der Lampenwiderstand mit sinkendem Strom und damit kleiner werdender Fadentemperatur ebenfalls kleiner wird. Damit wiederum sinkt aber auch R_E, so daß sein Einfluß auf U_C wächst. Insgesamt wurde am Muster das in der grafischen Darstellung nach Bild 7 erkennbare Verhalten gemessen. Dies am eigenen Aufbau nachzuvollziehen ist nicht schwer.

Mit einem I_{La} von etwa 30 mA ist die Übertragungsgrenze des Optokopplers erreicht. Die Lampe glimmt jetzt nur noch so schwach, daß man die Messung abbrechen kann. Die Ergebnisse sind aber nur richtig, wenn die Kombination Fotowiderstand – Lampe wirklich lichtdicht verpackt ist. Die Lampe setzt bei 50 mA etwa 150 mW Wärmeenergie frei. Für eine solche Dauerleistung sollte das Volumen des Kopplers mindestens 50 cm^3 betragen. Das wäre ein Würfel von fast 4 cm Kantenlänge. Doch über die Aktivzeit gesehen, sind es nur etwa 40 mW, so daß man schon mit etwa 10 cm^3 gut auskommt. Man bedenke dabei, daß ein stärker erwärmter Fotowiderstand bei gleicher Beleuchtungsstärke einen geringeren Widerstandswert hat! Für die Haube des nach Bild 8 montierten Kopplers läßt sich Leiterplattenmaterial, gelötet oder geklebt, gut verwenden. Doch auch passende Plastbehälter, ggf. lichtdicht beklebt, sind geeignet.

Die Kennlinie $U_A = f(t)$ in Bild 7 zeigt gut das gewünschte nichtlineare Verhalten, das einer e-Funktion recht nahekommt. Sobald die Lampe nicht mehr glüht (also unterhalb von etwa 25 mA), erreicht der Fotowiderstand seinen Dunkelwert. Das sind bei guten Exemplaren mehr als 10 MΩ. Für R_A = 10 kΩ ergibt das eine Spannungsteilung um 60 dB, d. h. 1:1000, bei 1 kΩ sogar um 80 dB (1:10000). Damit geht das Restsignal im (hoffentlich leisen!) Rauschen des Endverstärkers unter. Kurz nach dem Einschalten wird die bei dieser Belastung (R_A hat etwa den Wert des Fotowiderstands) für R_A = 1 kΩ verfügbare NF-Spannung dagegen lediglich auf etwa 1:1 geteilt. Am Lautstärkepotentiometer wählt man sofort die gewünschte Anfangsamplitude und überläßt alles Weitere der Automatik.

Wie sich dieses Gebilde in ein vorhandenes Gerät (mit Netztrennung!) einfügen läßt, zeigt Bild 9. Man kann es auch z. B. zwischen eine Tonquelle und eine Verstärkerbuchse »einschleifen«. Der Steuerstrom für die Lampe darf kein Wechselstrom sein – unerwünscht Brumm zu übertragen vermag das System durchaus noch, trotz Lampenträgheit!

Ein ganz anderer Fall einer Steuerung mit Licht liegt vor, wenn sich bei Einbruch der Dämmerung die Straßenbeleuchtung einschaltet – auch das ist ein Beitrag zur Sicherheit – und am Morgen selbsttätig wieder verlischt (was im Interesse des rationellen Umgangs mit Energie liegt). Das stellt die beinahe schon »klassische« Anwendung lichtempfindlicher Bauelemente und entsprechender Steuerelektronik dar. Schmitt-Trigger eignen sich ausgezeichnet für diese Aufgabe. Denn ihre Hysterese verhindert, daß schon Wolken zum Einschalten führen können. »Signalquelle« solcher Steuerungen ist die Sonne.

5. Unsichtbares Licht

Für die Funktion eines Optokopplers hat es keine Bedeutung, ob das Übertragungsmittel im sichtbaren Spektralbereich des Lichtes liegt oder etwa im Infraroten. Da aber Fotodioden und Fototransistoren gerade in diesem Bereich noch recht empfindlich reagieren, bot sich die Kombination mit Sendedioden eben im Infraroten an. Das brachte eine ganze Reihe nützlicher Anwendungen, bei denen es eher stören würde, könnte man das Licht bei seiner »Tätigkeit« sehen. Und so entstanden unsichtbare Lichtschranken zum Schutz von Menschen und Werten, aber auch Infrarotübertragungssysteme für die unterschiedlichsten Aufgaben. Ebenso wie bei den zahlreichen Einsatzfällen von Optokopplern hat man wieder mindestens 3 Gruppen zu unterscheiden:

- Übertragungsstrecken zur Sicherung, die auf gelegentliches Unterbrechen (oder Auftreten) des Lichtstrahls reagieren (»Lichtschranken«)
- Steuerstrecken, die schnelle Impulsfolgen übertragen
- analoge Übertragungsstrecken, z. B. für drahtlose Kopfhörer u. ä.

Lichtschranken haben vielfältige Erscheinungsformen. Beim Sichern von Durchgängen oder für das Auslösen von Öffnungsbefehlen (Hoteltüren, Fahrstühle) besteht die einfachste Anordnung darin, auf der einen Seite den Sender und auf der anderen den Empfänger zu montieren. Um dabei mit gegebenen Bauelementen möglichst große Entfernungen überbrücken zu können, bedient man sich sowohl optischer als auch elektronischer »Kniffe«.

Optisch können Reflektoren und Sammellinsen die Reichweite erhöhen. Man bündelt die verfügbare Strahlungsenergie auf den Empfänger hin. Elektronisch läßt sich ebenfalls Energie »bündeln«. Dazu folgende Überlegung: Der Strahlungsempfänger muß nicht dauernd mit einer großen Lichtdosis bestrahlt werden. Das erfordert nicht nur unnötig viel Sendeenergie, sondern überfordert auch bald die verfügbaren Sendedioden. Es genügt, wenn in kurzen Zeitabständen (z. B. alle 10 ms) ein Lichtblitz empfangen wird, der vielleicht nur 100 µs breit ist. Für so kurze Zeiten dürfen nämlich Sendedioden wesentlich höher belastet werden.

Im Empfänger muß man dafür sorgen, daß die so noch ausreichend starken Eingangsimpulse als Dauerinformation gewertet werden. Die Aufgabe läßt sich aber relativ leicht lösen, nämlich durch Verstärken mit anschließendem »Integrieren« dieser Impulse zu einer Gleichspannung. Mit ihr läßt sich über einen Schwellwertschalter eine beliebige Wirkung auslösen bzw. für die Dauer des ungestörten Betriebs verhindern. Impulsförmig unterbrochenes Licht hat noch einen weiteren Vorteil, wiederum als »elektronischer Kniff«, dem auch in diesem Falle ein optischer zugeordnet werden kann. Wenn die Übertragung im Infraroten verläuft, braucht (und sollte auch) kein sichtbares »Störlicht« auf den Lichtempfänger fallen. Würde nicht pulsförmig gesendet und würde der Empfänger nicht nur auf solch »unterbrochenes« Licht reagieren, könnte schon eine Taschenlampe die Anlage täuschen. Filterscheiben, die nur den infraroten Bereich durchlassen, schützen sowohl gegen solche Störungen als auch gegen Tageslicht allgemein. Denn selbst bei Impulslichtübertragung bleibt Fremdlicht ein Störfaktor. Allerdings wirkt es im Extremfall auf Grund der dann ausbleibenden Impulse wenigstens noch im Sinne einer Störungsmeldung.

Jeder Lichtempfänger ist nämlich irgendwann gesättigt. Das heißt: Bei einer von den Eigenschaften der Empfängereingangsschaltung abhängigen oberen Grenze der Beleuchtungsstärke bleiben weitere Änderungen ohne Reaktion. Eine einfache Lichtschranke würde also bei Sonnenlicht nicht mehr

erkennen, daß ihr »Soll-Strahl« unterbrochen worden ist. Eine Impulslichtschranke dagegen wird von starkem Fremdlicht zwar blockiert, doch reagiert sie dann wie bei Strahlunterbrechung – zuviel (»unbefugtes«) Licht wirkt wie gar kein Licht, und es wird Alarm ausgelöst. Dieser Unterschied kann lebenswichtig sein. Wo es darauf ankommt, daß auch fremde Pulslichtquellen keinen Einfluß auf dieses Verhalten haben, arbeitet man mit selektiven Verstärkern im Empfangsteil. Ergänzend sei auf folgendes hingewiesen:

Es gibt Schaltungen, die einen ziemlich großen Bereich der Eingangsamplitude akzeptieren, ohne daß der Empfänger versagt. Eine von ihnen besteht in einem stromabhängigen Arbeitswiderstand für den Fototransistor. Der Fotowiderstand wirkt als beleuchtungsabhängige Stromquelle. An einem Widerstand R_L im Emitterkreis entsteht auf Grund des von der Beleuchtung abhängigen Emitterstroms I_E die Signalspannung $U_A = R_L \cdot I_E$. Das funktioniert so lange, wie U_A genügend weit unter U_S, der Speisespannung, bleibt. Je größere Helligkeitsunterschiede noch zugelassen werden, um so kleiner muß R_L also sein. Doch dann ist U_A bei kleiner Helligkeit wiederum recht gering. Mit einer geeigneten Regelschaltung läßt sich erreichen, daß R_L um so kleiner wird, je größer I_E (und umgekehrt). Jetzt kann der Fototransistor in einem viel größeren Bereich der Beleuchtungsstärke seiner Aufgabe genügen, ein verwertbares Signal bei schnellen Änderungen des Nutzlichtstrahls zu liefern. Der Arbeitswiderstand wird dazu in seiner Änderungsgeschwindigkeit bewußt träge gemacht. Dadurch werden die schnellen Nutzsignale zum Verstärker weitergeleitet, während langsame Umgebungslichtänderungen nur den Grundwert des Widerstands verändern.

6. Licht und Schall

»Lichttelefone« waren schon immer interessante Objekte für den Freizeitelektroniker. Man kann mit einer solchen Einrichtung innerhalb einer Wohnung (außerhalb ist nicht zulässig!) Signale übertragen, z. B. von einem Fernsehempfänger in einen Kopfhörerverstärker. Das ist einerseits ein recht einfaches Modell üblicher Infrarotgeräte für diesen Zweck. Andererseits läßt es sich, besonders in ortsfester Ausführung, durchaus vollwertig dafür nutzen. Allerdings sind einige Randbedingungen zu beachten, denen man sich anpassen muß, wenn die Lösung zufriedenstellen soll. Vor allem die elektrische »Ausleuchtung« des Raums spielt dabei eine große Rolle. Aber auch die »Lichtsignale« des Fernsehbildschirms gilt es auszublenden. Selbst im Multiplex laufende Digitaluhren mit Leuchtziffern können Störbeiträge liefern!

Zunächst sei eine Übertragungsstrecke für Sprache beschrieben, die für sich allein einsetzbar ist. In 2facher Ausführung wird sie zum Lichttelefon.

Die Grundlösung arbeitet mit modifizierten Teilschaltungen der vielseitig verwendbaren Bausteine aus Bauplan 58. Die dadurch geringe Übertragungsleistung erfordert mindestens von etwa 2 m Distanz an feste Montage beider Teilschaltungen und Ausrichten aufeinander. Dazu folgen noch einige Tips. Schon mit einer Sammellinse vor der Sendediode lassen sich die Übertragungsbedingungen erheblich verbessern, d. h., die Reichweite kann erhöht werden. Die größte mögliche Entfernung bringt eine weitere Sammellinse vor dem Fototransistor des Empfängers. Bild 10 zeigt das Prinzip.

Die beiden Verstärker aus Bauplan 58 sind der neuen Aufgabe anzupassen.

6.1. »Analoger« Lichtsender

Der mit Transistoren bestückte Mikrofonverstärker aus Bauplan 58 wird für den Sender genutzt. Seine Endstufe bringt bereits die nötigen Eigenschaften mit. Für das verzerrungsarme Übertragen analoger Informationen muß die Diode des Senders mit einem Grundstrom betrieben werden, von dem aus in beiden Richtungen »moduliert« werden kann. Sie befindet sich also im A-Betrieb. Bei beispielsweise 25 mA Grundstrom kann man sie dann mit tragbaren Verzerrungen der übertragenen Signale um je etwa 20 mA nach oben (etwa bis 45 mA) und nach unten (etwa bis 5 mA) beeinflussen. Die realen Grenzen liegen da, wo sich der Faktor merklich ändert, durch den der Steuerstrom und die Lichtintensität verknüpft sind. Die Diode wird statt des bisher benutzten Arbeitswiderstands in Serie mit 22 bis 47 Ω in den Ausgangskreis des Verstärkers gelegt, je nach ihrer Belastbarkeit. Der Auskoppelkondensator hat in dieser Anwendung keine Aufgabe und entfällt. Bild 11 zeigt, wie dadurch der Sender aussieht, und Bild 12 gibt die zugehörige Leiterplatte wieder.

6.2. »Analoger« Lichtempfänger

Ein Verstärkerbaustein mit Operationsverstärker (Bild 13) übernimmt die Rolle des Empfängers. Die Verstärkerplatte des ursprünglichen Verstärkers mußte ein- und ausgangsseitig erweitert werden. Daher entstand für ihn die Leiterplatte nach Bild 14.

Der Lastwiderstand besteht aus einem ohmschen Widerstand, dessen Wert bei z. B. 3,3 kΩ liegen kann. Wenn eine fest installierte Anlage mit guter Fremdlichtschirmung gebaut wird, darf er auch größer sein. Seinem Wert ist der Koppelkondensator anzupassen.

Der benutzte *B 761 D* (bzw. *B 861 D*) ist bezüglich Gleichspannung mit dem Widerstand zwischen Ausgang und invertierendem Eingang voll gegengekoppelt, hat also die Gleichspannungsverstärkung 1. Dadurch wirken sich Drift- und Offsetprobleme auf den Arbeitspunkt am Ausgang kaum aus. Damit nur eine einzige Betriebsspannung genügt, liegt der nichtinvertierende Eingang an einem 1:1-Spannungsteiler, dessen R-Werte infolge der geringen Gleichspannungsverstärkung unkritisch sind. Der Kondensator, der den Eingang wechselspannungsmäßig auf Massepotential bringt, ist erst bei Koppelkondensatoren am invertierenden Eingang ab etwa 0,1 µF erforderlich. Er verhindert dann Selbsterregungserscheinungen (Blubbern).

Bezüglich Wechselspannung wird der *B 761 D* als invertierender Verstärker betrieben. Gegenkopplungszweig und Signalzweig sind also identisch. Für das Einstellen der maximal sinnvollen Verstärkung bleibt nur der Widerstand vom Ausgang auf den invertierenden Eingang. Dort nämlich befindet sich die Signalquelle.

Dazu folgende vereinfachte Betrachtung: Gemäß Bild 15 speist der Fototransistor, als lichtgesteuerte Stromquelle betrachtet, in den Arbeits- oder Lastwiderstand $R1$ den Signalstrom I_F.

Im Leerlauf entsteht dort die Signalspannung $U_L = I_F \cdot R1$. Sofern für die übertragenen Frequenzen der Koppelkondensator gegenüber $R1$ zu vernachlässigen ist ($2\pi f C1 \gg 1/R1$), wird die Signalspannung mit dem Faktor $-R4/R1$ verstärkt (siehe Bild 13). Das heißt, $U_A = -U_L \cdot R4/R1 = I_F \cdot R1 \cdot R4/R1 = I_F \cdot R4$. $R1$ fällt also aus dieser (etwas vereinfachten) Betrachtung heraus. Je höher $R1$, um so größer zwar U_L, um so kleiner aber auch die Verstärkung. Das ändert sich mit wachsendem $R1$, wenn die Kondensatorbedingung nicht mehr gilt. Darum eben muß $C1$ der Größe von $R1$ angepaßt werden. (Beispiel für den gesamten Tonfrequenzbereich: 0,47 µF und 47 kΩ.)

Insgesamt sind die Verhältnisse auf Grund der »realen« Bauelemente zwar komplizierter, doch die Tendenz läßt diese Betrachtung gut erkennen. Wählt man $C1$ bewußt kleiner, erhält die Schaltung Hochpaßverhalten (Beispiel: 3,3 nF und 10 kΩ). Tiefe Störfrequenzen (100-Hz-Brumm von netzbetriebenen Lampen) können dadurch in ihrer Wirkung etwas begrenzt werden. Wesentlich wirkungsvoller gegen solche Effekte ist eine insgesamt frequenzabhängige Beschaltung des Operationsverstärkers im Sinne einer 100-Hz-Sperrfunktion (der umgekehrte Fall zum Selektivempfänger z. B. bei Impulslichtschranken).

Im Test einiger dieser Varianten zeigte sich, daß ein aufwandgünstiges Optimum bereits mit der leicht modifizierten Grundschaltung ($R1$ = 1 kΩ, $C1$ = 10 nF) durch Nutzen sowohl der elektrischen als auch der optischen Möglichkeiten zustandekommt.

»Optisch« heißt dabei, vorrangig einen vernünftigen Standort zu wählen. Also: Wenn Lampenlicht, dann außerhalb der optischen Achse zwischen Sender und Empfänger. Nur bei sehr ungünstigen Verhältnissen bzw. bei Entfernungen, bei denen auch bereits ohne Störquellen das Signal sonst zu klein wäre, sind Sammellinien erforderlich. Wenn keine störenden Lampen vorhanden sind und im Falle des Fernsehempfangs die Empfängerachse günstig liegt, kann C durchaus eine Zehnerpotenz größer gewählt werden. Bei gleichem R erweitert sich dann der übertragene Frequenzbereich nach unten (Tiefen werden besser wiedergegeben), und die Lautstärke erhöht sich insgesamt. Mit einer Linse am Empfänger wird der erfaßbare Raumwinkel des Strahlenkegels vergrößert, ohne daß allzu präzises Ausrichten nötig wäre. (Empfangsbox z. B. auf Tisch neben den Empfangsort stellen und nach Ausrichten nicht mehr bewegen.) Entfernungen bis zu 10 m ließen sich (mit zunehmender Entfernung toleranzempfindlicher werdend) z. B. mit einer Sammellinse mit 65 mm Öffnung und 60 mm Brennweite gut überbrücken. Nochmals (aber mit präziser Ausrichtung) kann diese Nutzstrecke wenigstens verdoppelt werden, wenn zusätzlich mit einer Linse am Sender gearbeitet wird. Doch auch bereits ein lichtdichtes Röhrchen über dem Empfängertransistor unterdrückt Störungen durch Umgebungslicht wirksam. Das ist auch für einen vernünftigen

Arbeitspunkt bei größerer Außenhelligkeit auf jeden Fall sinnvoll. In einem Test bei schräg einfallendem Sonnenlicht zeigt sich die Wirksamkeit dieser Maßnahme auch unter Extrembedingungen.

Das Röhrchen kann z. B. aus der Hülle eines ausgedienten Faserstiftes gewonnen werden, von dem ein etwa 3 cm langes Stück abgesägt wird (Bild 16). Da nun aber die nutzbare Fläche des Senderkegels kleiner wird, liegt bereits der Einsatz einer Empfängerlinse nahe, wie diskutiert. Ob mit oder ohne Röhrchen und Linse – gegen hartnäckigen 100-Hz-Brumm aus »sichtbaren Lichtquellen« helfen auch schon einige Lagen roter Bastelfolie. Das infrarote Signal wird durch sie wesentlich weniger geschwächt als das sonst ebenfalls zum (Stör-)Signal beitragende Licht im sichtbaren Bereich.

Auf Grund entsprechender Erfahrungen sei noch auf einen Effekt hingewiesen, der sich bei praktisch fehlendem Fremdlicht bemerkbar macht. Er hängt offenbar mit der Stromabhängigkeit der Stromverstärkung zusammen. Bekanntlich besteht ein Fototransistor aus der Kombination einer (in Sperrichtung betriebenen) Fotodiode und eines Transistors. Bei sehr kleinen Kollektorströmen weisen aber bipolare Siliziumtransistoren oft wesentlich niedrigere Stromverstärkungen auf als z. B. bei einem Kollektorstrom von 1 mA für Kleinsignaltypen. (Der *SF 126* gar hat erst bei 50 mA sein Maximum.) In Konsequenz dieser Eigenschaft zeigte sich folgendes: Das schwach einfallende modulierte Lichtsignal der Nutzlichtquelle erfuhr in der Schaltung eine höhere Verstärkung (und mit stärkerer Höhen-, aber demgemäß auch Rauschbetonung), wenn eine nicht allzu starke Fremdlichtquelle eingeschaltet wurde. Man kann das an der praktischen Schaltung im dunklen Raum bereits mit einer Taschenlampe testen. Insofern wäre für Analogübertragung ein mit herausgeführtem Basisanschluß versehener Fototransistor sicherlich das Optimum. Für das erstmalige Einstellen einer »ortsfesten« Anlage ist sichtbares Licht günstig. Dort, wo sich später die Sendediode befindet, wird eine Kleinglühlampe angebracht und entsprechend ihren Daten aus einer Batterie gespeist. Für diese Art des Einstellens ist bereits eine Sammellinse vor dem Sender günstig. Man kann sie mit der Lampe auf den Empfänger ausrichten. Dazu wird in der Empfangsebene, wo später die aktive Fläche des Fototransistors liegt, ein Stück weiße Pappe angebracht. Auf dieses hin bündelt man das Lampenlicht durch Verschieben der Linse. Dieses Voreinstellen empfiehlt sich auch, wenn anschließend der Empfänger noch eine Sammellinse erhält. Sie vermag das ankommende Lichtbündel auf die kleine Empfangsfläche zu konzentrieren. Das ergibt eine beträchtliche Steigerung des beleuchtungsabhängigen Transistorstroms und damit größere mögliche Entfernungen. Doch Vorsicht – auch kleine Auslenkungen des Senderstrahls können nun den Erfolg bereits in Frage stellen! Man sollte Justierlampe und Sendediode jeweils ohne großen Aufwand gegeneinander auswechseln können. Das erleichtert Korrigieren oder Anpassen an andere Bedingungen. Dabei ist zu bedenken, daß der Glühfaden der Lampe eine größere Ausdehnung hat als die aktive Fläche der Infrarotdiode. Der optischen Einstellung mit Lampe sollte daher eine Feinkorrektur unter Betriebsbedingungen folgen. Außerdem »schielen« besonders Bastelexemplare infolge der Toleranzen zwischen der Linse ihres Plastgehäuses und der Empfangsfläche. Darum ist die Orientierung nach der Rotationsachse nicht immer die optimale Richtung. Für die zuverlässige Montage sind Foto-Tischstativklemmen gut geeignet. Als Hilfsmittel für die »optische Verstärkung« kann man sich neben handelsüblichen Sammellinsen auch entsprechender Teile eines im Handel erhältlichen Optikbaukastens bedienen.

7. Drahtloser Kopfhörer

Die Senderschaltung nach Bild 11 ist vom möglichen Optimum, was die Ausnutzung der Leuchtdiode betrifft, noch weit entfernt. Das Muster arbeitete auf Grund der Speisespannungshöhe und des gewählten Vorwiderstands z. B. mit nur 12 mA. Das gestattet für kürzere Zeiträume auch beim Sender Batteriebetrieb. Die soeben angegebenen Entfernungen beziehen sich aber bereits auf einen anderen »Senderkopf«. Er ist einfach (Bild 17) und läßt sich sehr wirkungsvoll einsetzen. Alle Geräte mit Lautsprecherausgang bieten sich dafür als Signalquellen an. In speziellen Fällen kann sogar die in Bild 18 skizzierte Lösung jeden weiteren Eigenbauverstärker einsparen. (Alternativ benutzt man den Senderteil nach Bild 11 mit einem Spannungsteiler am Eingang (100 kΩ) – er funktioniert an jeder Überspielbuchse!). Das Bild zeigt, wie z. B. aus der Kopfhörerbuchse oder aus der Magnetbandbuchse eines dafür eingerichteten modernen Fernsehempfängers mit Netztrennung ein Signal (am günstigsten über einstellbaren Spannungsteiler) mit Hilfe eines passenden Kabels in den Magnetbandeingang eines Portables eingespeist werden kann. So läßt sich bei Bedarf schnell einmal auf Fernsehempfang sowohl ohne Ruhestörung

wie ohne quer durchs Zimmer laufende Stolperkabel umschalten. Sinnvoller Zusatz: Statt der in Bild 17 angedeuteten Batterie ein kleines Netzteil, z. B. mit Klingeltransformator, für die Speisung der Leuchtdiode. Dieser Gleichstromarbeitspunkt ist die entscheidende Voraussetzung für eine gute Wiedergabequalität. Dem muß auch die Aussteuerung vom Gerät her angepaßt sein. Also Lautstärke nicht unnötig weit »aufdrehen«!

Übrigens: Auf keinen Fall die Werte der beiden Widerstände im Ausgangskreis des *B 761 D* in Bild 13 verringern oder gar den Kondensator »einsparen«! Um im 400-Ω-Kopfhörer die von dessen dynamischem System her mögliche Wiedergabequalität nicht unnötig zu beschränken, darf man ihn weder in einen Gleichstrom führenden Kreis legen noch den Operationsverstärker zu stark belasten. (Das geht auf Kosten seiner inneren Verstärkung und erhöht die Verzerrungen.)

Die Tests zum »drahtlosen« Kopfhörer gipfelten in einem Aufbau, der sich als neuer nützlicher Gebrauchsgegenstand rasch in das Wohngeschehen einfügte. Vordergründig ging es um Fernsehen ohne Störung von Mitbewohnern, aber auch ohne tückischen Kabelsalat. Zusätzlich bot sich die Möglichkeit, bei mehreren Teilnehmern zwar wieder mit Lautsprecher zu empfangen, jedoch dem am schlechtesten Hörenden die Infrarotanlage zuzuweisen.

Beide Hörkanäle können so unabhängig voneinander in der Lautstärke eingestellt werden, was bei Verwendung des normalen Kopfhörerausgangs ja meist nicht möglich ist. Ein ausreichender Pegel bei guter Wiedergabequalität sowie Einstellbarkeit der Hörerlautstärke über einen genügend großen Bereich erforderten einige mechanisch-optische Maßnahmen, die schließlich zu der in den Fotos am Bauplanende dokumentierten Anlage führen.

Als Dauerlösung geplant, erhielt sie einen netzgespeisten Senderkopf. Die Leiterplatte des Analogsenders fand in einer Aluminiumdose Platz, wie sie für Kleinbild-3er-Packs benutzt werden. Bodenseitig erhielt sie eine 5polige »Diodenbuchse«, deren Masselötfahne die Leiterplatte über einen 1-mm-Draht hält. Die Leiterplattenkanten wurden leiterseitig stark gebrochen, so daß Berührung von Leitern mit der Dosenwand verhindert wird. Die Sendediode mit entsprechend gebogenen Anschlüssen ragt zentrisch aus der mit einem 4-mm-Loch versehenen Deckelmitte. Die Dose, aus der hinten nur die beiden Stromversorgungsleitungen herauskommen, ist mit dem Gehäuse eines Klingeltransformators fest verschraubt (kurze M2-Schraube). Unter Beachten der Sicherheitsabstände zur Primärwicklung wurde auf der Niederspannungsseite ein 1000-μF/25-V-Kondensator zusammen mit einer *SY 360* direkt am Transformator montiert. Eine über 470 Ω betriebene Leuchtdiode ragt aus dem Gehäuse und signalisiert Netzanschluß. Solche Maßnahmen am Objekt dürfen nur Sachkundige durchführen; alle anderen leiten die Niederspannungsanschlüsse heraus!

Da jetzt auf Grund der Leuchtdiodenvorlast jedoch noch immer etwa 10 V Gleichspannung am Ladekondensator stehen, erhielt der Sender einen größeren Wert des Vorwiderstands der Infrarotdiode. Der im Ausgang benutzte 500-mA-Basteltransistor lieferte bei einer Stromverstärkung um 100 so gerade den für die Sendediode zulässigen Dauergleichstrom. Ein auf die lautesten Stellen des NF-Signals bezüglich geringster Übersteuerung eingestelltes 100-kΩ-Potentiometer (Größe 05) liegt direkt über der Eingangsbuchse (Anschluß 3 für Signal, 2 für Masse). Es war auf etwa 20 % einzustellen. Der Typ *VQ 110* hat einen relativ kleinen Abstrahlwinkel. Auch der benutzte *SP 201* reagierte relativ »schmal«. Dies und das Bestreben, noch auf etwa 6 m eine NF-Amplitude mit genügend Reserven an den 400-Ω-Kopfhörer zu liefern, führte zu einem gegen Streulicht gekapselten, mit einer Linse großer Öffnung versehenen Empfängeraufbau. Im Interesse guter Tiefenwiedergabe wurde der Koppelkondensator auf 1 μF erhöht. Wegen der normalen Pegelverhältnisse ist bei Einsatz eines Elektrolytkondensators Plus an den invertierenden Eingang zu legen. Auf Grund der nur etwa 3 mA Stromaufnahme bei 6 V Betriebsspannung wurde empfangsseitig eine Batterie aus 3 Kleinakkumulatoren *RZP 2* vorgesehen.

Ein 2teiliger Polystyrol-Schubfach-Behälter erwies sich für die Anlage als ebenso günstig wie eine handelsübliche rechteckige Leselupe mit einer fast dem Behälterquerschnitt entsprechenden Öffnung. Der Empfangstransistor wurde so montiert, daß er gerade in der optischen Achse der Linse liegt. Wie die Fotos der Versuchsleiterplatte zeigen, blieb links und rechts neben der Platte genügend Platz für die Kopfhörerbuchse, einen Kippschalter für die Batterie und ein Potentiometer. Das ist am besten ein logarithmischer 1-MΩ-Typ, der statt des Gegenkopplungswiderstands in der OPV-Beschaltung benutzt wird. Im Muster brachte Parallelschalten zum Festwiderstand auf der Leiterplatte bereits gute Ergebnisse.

Auf Grund der großen Brennweite der Leselupe und der unterschiedlichen Nutzungsdistanzen zwischen weniger als 1,5 m und bis zu 10 m erwies es sich als sinnvoll, die Leiterplatte relativ zur Linse verschieben zu können. Das erlaubt der benutzte Behältertyp zunächst mit etwas großer Toleranz. Ein

passendes Stück 1-mm-PVC wurde daher auf die aus Streulichtgründen nach unten gekehrte Einschuböffnung gelegt und lösbar mit 1-mm-Draht verstiftet. Das brachte die erwünschte Gleithemmung.

Bei günstiger Einstellung lassen die Ergebnisse der Anlage keinen Wunsch offen. Sofern Sende- und Empfangsachse auf gleichem Niveau liegen, muß der Empfänger geschwenkt werden, um den besten Punkt zu finden. Höhenunterschiede erfordern Schrägstellen. 2 mit *Saladur* vorn am Rahmenboden befestigte Tubenverschlüsse (die auch das am Lupenrahmen verbliebene Scharnierteil des demontierten Griffs »abfangen«) brachten beim Muster die nötige Lage. Eine Stellschraube am hinteren Schubteil wäre eine vorteilhafte Abrundung dieser Maßnahmen.

8. Digitale Schranke

Im folgenden soll eine Lichtschranke auf 2 Leiterplatten vorgestellt werden, die man wegen dieses modularen Prinzips beliebig nutzen und aufbauen kann. Ihr minimaler Energiebedarf auf der Empfangsseite (etwa 1 mA bei z. B. 6 V) macht sie auch für mobilen Einsatz geeignet.

8.1. Digitaler Lichtsender

Bild 19 zeigt eine günstige Lösung für die Aufgabe, aus einer Infrarotdiode das Maximum herauszuholen. Für diesen Sender wird der Timerschaltkreis *B 555 D* benutzt. Die Schaltung liefert schmale Impulse hoher Stromstärke. Jetzt muß ja keine möglichst naturnahe Signalübertragung wie bei Sprache oder gar Musik erreicht werden. Statt A-Betrieb ist energiegünstiger C-Betrieb möglich. Gibt man sich mit 200 mA Spitzenstrom zufrieden (genug für die meisten im Handel erhältlichen Infrarotsendedioden, und das auch nur bei entsprechend schmalen Impulsen!), schafft es der Ausgang des *555* sogar allein. Impulshöhen z. B. bis 0,8 A und damit größere Reichweiten lassen sich mit einem zusätzlichen Transistor realisieren. Die Impulse müssen dann noch schmaler eingestellt werden, damit ihr Gleichstromwert für die Diode zulässig bleibt. Das zu tun macht der *555* leicht. Bild 20 zeigt, wie die Schaltung nach Bild 19 eingestellt werden kann. Die obere mögliche Grenze wird damit weniger von den elektronischen Möglichkeiten für diesen Sender (Bild 21) bestimmt als von den Daten der Sendediode.

8.2. Übertragungsprinzip

Bild 22 zeigt das Prinzip eines Infrarotimpulsempfängers, der für solche Pulsfolgen geeignet ist. Relativ schmale Sendeimpulse möglichst großer Amplitude sind also im Empfänger als Schaltspannung auszuwerten. In einem gewissen Bereich kann man für die Sendediode annehmen, daß der Stromimpuls etwa um den Faktor Periodendauer durch Pulsbreite größer sein darf als der zulässige Dauergleichstrom. Genaueres zeigt Bild 23. Der maximal zulässige Impulsstrom gemäß Datenblatt bildet die absolute Obergrenze, verbunden mit einer dann noch maximal zulässigen Impulsbreite innerhalb einer Periode. Je schmaler die Impulse im Verhältnis zur Periodendauer, um so näher darf man dem genannten Faktor kommen, denn um so mehr Zeit hat der Diodenchip in den Impulspausen zum Abkühlen zwischen den wärmeerzeugenden Impulsen. All das gilt ausreichend genau nur für Impulsbreiten unter etwa 1 ms. Man ist daher zunächst geneigt, 10 kHz und mehr als günstige Impulsfrequenzen wegen der dann zulässigen hohen Impulsströme bei kleinen Impulsbreiten anzusehen. Dem setzt allerdings auf der Empfangsseite der Fototransistor bald praktische Grenzen. Die vom einfallenden Licht frei gemachten Ladungsträger müssen nämlich in den Lichtpausen wieder aus dem Basis-Kollektor-Bereich des Transistors abfließen. Je schneller die Lichtimpulse aufeinanderfolgen, um so stärker »verschleift« sich daher das Bild dieser Impulse am Arbeitswiderstand des Fototransistors. Und je größer dieser Widerstand ist, um so länger dauert der Ausgleichsvorgang. Bild 24 zeigt, wie sich das auf die Kurvenform auswirkt. Darum soll dieser Widerstand nicht unnötig groß sein.

8.3. Lichtempfänger mit Warnsignal

Würde empfangsseitig hinter dem Fototransistor eine Auswertevorrichtung nur einfach auf den Gleichspannungsanteil der Spannung am Arbeitswiderstand reagieren, wäre durch die schmalen hohen Sendeimpulse noch nichts gewonnen. Doch der Empfängereingang nach Bild 25 kombiniert die Funktionen Spannungsverstärkung und Impedanzwandlung. Die Absolutwerte der Widerstände dieses Schaltungsteils richten sich nach den Umgebungsbedingungen.

In der vorgestellten Empfängerschaltung wird auf einen aktiven Arbeitswiderstand verzichtet. Diese Maßnahme macht die Gesamtschaltung aber übersichtlicher, erfordert allerdings gutes Abschirmen des Empfangsteils gegen helles Umgebungslicht. Solche Maßnahmen wurden schon in Abschnitt 7. diskutiert. Im Tausch gegen mögliche Entfernung zwischen Sender und Empfänger kann der Arbeitswiderstand bei ungünstigen Bedingungen (großer Störlichtanteil) auf einen kleineren Wert eingestellt werden.

Vom Arbeitswiderstand wird die Impulsspannung abgegriffen und über einen Kondensator vom Gleichspannungsteil (Umgebungshelligkeit) getrennt. Die *Darlington*-Kombination der beiden pnp-Transistoren belastet diese »Quelle« nur gering, denn ihr Eingangswiderstand liegt – je nach Stromverstärkung – ausreichend weit über dem Wert von *R*3.

Der Arbeitspunkt dieser Stufe wird auf den 1. Blick etwas ungewöhnlich eingestellt. Eine Leuchtdiode erhält einen von der relativ wenig schwankenden Betriebsspannung abhängigen Strom von weniger als 1 mA. Ihre Flußspannung liegt deutlich über der Summe der Basis-Emitter-Spannungen der beiden Transistoren. Zu diesen hin verzweigt sich nur ein sehr kleiner Teil des Stroms. Um einen ausreichenden Spielraum für die günstigste Einstellung zu erhalten, wird der Basisstrom von einem Teil der Flußspannung abgeleitet. Die Stufe muß man so einstellen, daß bei nicht beleuchtetem oder nicht angeschlossenem Fototransistor zwischen Kollektoren und Masse höchstens etwa $0{,}3 \cdot U_S$ gemessen werden. Das ist für den angestrebten Zweck ein meist noch zulässiger Wert. Er muß auf jeden Fall noch genügend weit unter den beiden von der Betriebsspannung abhängigen Triggerschwellen des *4093* liegen. Der Trigger schaltet dadurch einerseits nicht ungewollt ausgangsseitig auf L, sondern nur mit entsprechendem Nutzsignal, andererseits sinkt die Eingangsspannung bei Unterbrechen der Lichtschranke ausreichend weit unter den Punkt, bei dem der Ausgang wieder von L auf H schaltet. Bild 26 zeigt, welche Verhältnisse dabei gegeben sind.

Das System Leuchtdiode-*Darlington*-Stufe ist bei relativ wenig schwankender Betriebsspannung geeignet, die Auswirkung von Temperaturhüben im Zimmerbereich auf den Arbeitspunkt zu kompensieren. Die Flußspannung der Leuchtdiode ändert sich nämlich gleichsinnig zu den für einen bestimmten Kollektorstrom erforderlichen Basis-Emitter-Spannungen. Bei größeren möglichen Änderungen der Betriebsspannung dagegen ist es günstiger, die am Kollektorwiderstand eingestellte Ruhespannung von der Betriebsspannung abhängig zu machen, denn die Triggerschwellen des *4093* sind keine Absolutwerte. Sie ändern sich proportional zur Betriebsspannung. Insgesamt empfiehlt sich für zuverlässigen Dauerbetrieb das Stabilisieren der Speisespannung. Auf Grund des niedrigen Betriebsstroms ist das noch rationell möglich. Die Schaltung nach Bild 25 nimmt selbst im Alarmfall nur etwa 2 mA auf. Bei beleuchtetem Fototransistor benötigt sie nur etwa 1 mA, hauptsächlich wegen der Leuchtdiode. Darum ist bei 9-V-Betrieb bereits die in Sperrichtung betriebene Basis-Emitter-Strecke eines Basteltyps des *SF 126* oder sogar des *SF 136* zum Stabilisieren bei etwa 7 V gut geeignet (Bild 27). Die Schaltung nach Bild 25 gibt bei Strahlunterbrechung einen sich selbst wieder periodisch unterbrechenden Signalton ab, der von einem Piezoschwinger abgestrahlt wird. Dafür sorgen 2 aus je einem Triggerelement gebildete Generatoren (»Takt« und »Ton«). Solange der Infrarotstrahl auf den Fototransistor wirkt, steht am Arbeitswiderstand der *Darlington*-Stufe eine leicht wellige Gleichspannung von – betriebsspannungsmäßig – etwa 6 V. Das bewirkt der gegen den Entladewiderstand von 470 kΩ niederohmige Ausgang der *Darlington*-Stufe. Sie lädt in einem Bruchteil der Periodendauer den relativ kleinen Kondensator auf. Die Entladezeitkonstante ist wesentlich größer als die Periodendauer des Sendegenerators. (Sie liegt im Muster im Bereich um 1 ms.) Solange damit die Spannung am Eingang des 1. Triggers dessen obere Triggerschwelle wesentlich überragt, ist sein Ausgang auf L, also auf fast 0 V, festgelegt. Dadurch bleibt der 1. Generator (»Takt«) gesperrt, allerdings mit H am Ausgang. Der Tongenerator würde also arbeiten. Daß er das (wie gewünscht) nicht tut, dafür sorgt der letzte Trigger. Sein Ausgang wird vom Nutzsignal ebenfalls auf L gehalten. Die Diode zwischen Tontrigger und dem Ausgang des 2. Triggers hält damit auch den Tongenerator gesperrt. Durch die in der Schaltung enthaltenen Zeitglieder (*RC*-Schaltungen) muß der Strahl wenigstens einige hundert Millisekunden lang unterbrochen werden, wenn beide Trigger auf H am Ausgang schalten sollen. In diesem Fall werden die beiden Generatoren freigegeben; der Taktgenerator ganz und der Tongenerator im Rhythmus des Taktgenerators. Dadurch kommt das periodisch unterbrochene Alarmsignal zustande. Wählt man den Widerstand des Tongenerators günstig (Frequenz z. B. durch einen Einstellwiderstand optimieren), erhält man mit wenig Energie einen recht lauten Signalton – die Signalkapsel arbeitet dann in Resonanz.

8.4. Selbsthaltung auf Wunsch

In der Schaltung ist eine weitere Rückführung enthalten. Wird ihr Schalter geschlossen, so ergibt sich auch bei einer nur kurzzeitigen Schrankenunterbrechung ein Dauersignal. Man löscht es durch Öffnen des Schalters. Das funktioniert aber nur dann, wenn der Strahl inzwischen wieder auf den Fototransistor trifft. Für die praktische Nutzung dieser Schranke gelten die bereits genannten Regeln: Fremdlicht vermeiden, also Fototransistor in lichtundurchlässigem Röhrchen montieren, stabile Gesamtmontage, genaues Ausrichten (um so größer wird die mögliche Entfernung – ohne Optik je nach Daten der Bauelemente bis etwa 0,6 m), bei Bedarf Einsatz von optischen Hilfsmitteln (Sammellinsen). Bild 28 bietet auch für den Empfangsteil eine Leiterplatte.

8.5. Neuer Partner: Piezoschwinger

»Eingebettet« in diesen Abschnitt lernt der Bauplanleser ein neues nützliches Bauelement näher kennen. Erwähnt wurde es schon bei früheren Gelegenheiten. Es ist seit etwa 2 Jahren auch dem Amateur zugänglich geworden, nachdem die Industrie von diesem äußerst ökonomischen Signalgeber bereits ausgiebig Gebrauch gemacht hatte.

Piezoelektrische Keramikplatten reagieren auf das Anlegen einer Spannung mit Verbiegen. Verschwindet die Spannung, »entspannt« sich auch die Platte. Je nach Größe und Art der Halterung haben solche Gebilde Eigenschwingungen im Hörbereich. Man kann sie also als Signalgeber benutzen. Schon mit 2 CMOS-Gattern läßt sich eine entsprechend kontaktierte Biegeplatte zu Schallschwingungen anregen. Wird sie dann noch geeignet mit einem auf ihre Grundresonanz abgestimmten Hohlraumresonator verbunden, ergibt sich hoher Schalldruck bereits bei kleinen Energien.

Bild 29 zeigt rechts den keramischen und links den mikroelektronischen Teil einer handelsüblichen Signalkapsel vom Typ *piezo-phon*. Die »Mikroelektronik« besteht aus einem Hybridschaltkreis, der ein integriertes Widerstandsnetzwerk und einen Transistor enthält. Damit nimmt der Hersteller, der VEB *Keramische Werke* Hermsdorf, dem Amateur die Sorge um den geeigneten Generator ab. Wer den aber doch selbst bauen möchte, der greift zu einem (entsprechend billigeren) *piezo-signal*. Beide Typen (Bild 29 zeigt das Äußere des erstgenannten) unterscheiden sich äußerlich in der Zahl der Anschlußdrähte. Beim *piezo-signal* sind es 3. Das ist nötig, um über entsprechend auf der Scheibe angeordnete Elektroden Schwingungen auf der Eigenresonanz in Zusammenhang mit einem Generator anzuregen. Denn: Piezokeramische Schwinger sind in ihrem Verhalten umkehrbar. Eine angelegte Spannung erzeugt eine Verbiegung, doch eine mechanische Kraft liefert auch eine Spannung – wie etwa beim Kristalltonabnehmer. Geschicktes Verknüpfen beider Effekte und Verstärken führen zur Selbsterregung.

Wer gern mit Tönen experimentiert, kann sich seinen elektronischen Kanarienvogel oder eine Hausgrille mit einer *piezo-signal*-Kapsel, 3 Transistoren und einigen Widerständen bauen. Beide benötigen Spannungen zwischen 3 und 20 V. Und das Schöne: Man kann sie auch abschalten.

Ernsthaftere werden aber weit mehr mit diesen Signalgebern anfangen können, und das meiste davon hat Sinn. Die einfachste Signal- oder Alarmanlage braucht nur noch aus Kontakt, *piezo-phon* und Batterie zu bestehen. Statt Batterie ist auch ein Transformator möglich, denn die aktive Kapsel akzeptiert sogar Wechselspannung. Im Grunde erinnert das dann schon fast an eine Grille. Der Generator nutzt nämlich immer nur eine Halbwelle der 50-Hz-Schwingung aus, und das hört sich dann bereits klingelähnlich an. Doch vergleichbare Hörreichweiten werden mit viel kleinerem Energiebedarf erzielt. Man kann grob mit 1 mA Stromaufnahme je Volt Betriebsspannung rechnen. Mehr als 20 V sind nicht zulässig. Zwischen −40 und +60 °C ist das System einsatzfähig. Also eignet es sich für Warnsignale in Betriebsmitteln bei höherer Temperatur ebensogut wie als unverwüstliche »Datschenklingel« oder als Erinnerungspiepser für den Scheinwerfer beim Aussteigen aus dem Pkw.

Wo mit einem üblichen elektromechanischen Schallwandler, wie Telefonhörkapsel oder Kleinlautsprecher, erst eine Generatorschaltung zu bauen war, tut es der *piezo-phon* bereits mit einer Speisequelle

allein. Wird ein Generator aber in den Bereich tiefster Frequenzen verlegt, hat man nun schon einen unterbrochenen Ton.

Bezugsquellen: Modellbaugeschäfte des SGB »Kulturwaren«. Wer tiefer in diese Materie eindringen will, lese in Heft 9/84 der Zeitschrift *radio fernsehen elektronik* nach (S. 561–565).

Bild 30 zeigt eine *piezo-phon*-Kapsel zusammen mit den beiden bisher ausschließlich für Signalzwecke verfügbaren elektromagnetischen Hörkapseln und einem Kleinlautsprecher. Letztgenannter ist im Grunde der am wenigsten ökonomische Signalgeber: Nur wenig billiger als *piezo-phon*, erfordert er auf Grund seiner höchstens 15 Ω Schwingspulenwiderstand beträchtlichen Signalstrom – oder (mit Vorwiderstand) es wird entsprechend leiser. Sein Vorteil liegt dort, wo größere Schall-Leistungen sehr unterschiedlicher Frequenz abgestrahlt werden sollen. Doch das tun, bezogen auf die Frequenzbandbreite, auch die 54-Ω - und die 400-Ω -Kapsel. Allerdings erfordern ihre Induktivitäten meist eine Schutzdiode für das treibende Bauelement, *piezo-phon* dagegen nicht. Ein weiterer Pluspunkt für den neuen Geber.

9. Miniaturschranken

Die Übertragungsstrecken spezieller Lichtschranken können recht klein sein. Auf wenige Millimeter geschrumpft ist diese Strecke in der Gabellichtschranke (Bild 31). Diesmal sind es ja auch keine Personen, ob erwünschte oder unerwünschte, die den Strahl unterbrechen. Solche Schranken benutzt man in rotierenden Systemen. Ihr Prinzip eignet sich für Kassettenrecorder ebenso wie für Kraftwerksturbinen. Eine »Meldescheibe«, die am Rand lichtdurchlässig ist, sorgt dafür, daß eine der Drehzahl proportionale Folge von Lichtimpulsen auf den Empfangsteil fällt. Selbstverständlich speist man diese Schranken im allgemeinen mit Dauerlicht. Wo kein Platz für eine Meldescheibe bleibt, löst meist eine Reflexionslichtschranke das Problem. Das rotierende Teil erhält auf sonst möglichst matter, dunkler Oberfläche einen gut reflektierenden Streifen aus Farbe oder Folie. Zur Lichtschranke wird das Ganze erst mit eben dieser reflektierenden Fläche. Denn das zugehörige Bauelement strahlt sein Licht in die gleiche Richtung ab, die der Empfangstransistor »beobachtet«. Sendediode und Empfangstransistor liegen, voneinander abgeschattet, dicht nebeneinander. Bild 32 zeigt ein Beispiel. Das Ergebnis, ein vom auftreffenden Licht hervorgerufener Strom durch den Empfangstransistor, muß wieder in nun schon bekannter Weise verstärkt werden, bevor man damit Wirkungen auslösen kann.

10. Lichtklingel

Wenn lautes Klingeln stört oder nicht gehört wird, sollte man das übliche akustische Türsignal durch ein optisches ersetzen bzw. ergänzen.

10.1. Grundschaltung

Die einfachste Lösung für ein optisches Klingelsignal besteht in einer Lampe passender Betriebsspannung direkt an den Klingelanschlüssen. Sie leuchtet, solange es klingelt (oder statt der abgeklemmten Klingel), doch ihrer Lichtintensität sind Grenzen gesetzt. Ein nur einen Haushalt versorgender Klingeltransformator von 6 V bei 0,5 A normalen Laststroms vermag eben nur eine 3-W-Lampe hell zum Leuchten zu bringen.

Wesentlich intensiver sind Halogenstrahler. Die im folgenden beschriebene Lösung basiert auf der weitverbreiteten *halogen 20*-Leuchte, doch ist das Prinzip auch auf andere 12-V-Trenntransformator-Lampen anwendbar. Ein solcher Lampenknopf, auf den Arbeits- oder sogar Schlafplatz gerichtet, liefert ein ziemlich intensives Signal. Je nach Gesamtlösung wird man diese Lampe von der Klingel aus steuern, so daß die übrige Anlage (ggf. abschaltbar) weiter mit genutzt wird, oder ein getrennter Taster aktiviert

die Lampe. Etwa 2 A Warmstrom bedeuten aber, wenn man diese Lampe über einen Taster direkt schalten würde, bis zu 10 A Kaltstromstoß – nicht gerade günstig für kleinere Kontaktflächen. Ein »Relais« ist sinnvoll. Der Begriff sei aber nur im übertragenen Sinne verstanden. Denn Relaiskontakte dieser Größenordnung sind an größere Typen gebunden. Noch wichtiger aber: Öffnungsfunken führen zu Störungen im Rundfunk- und Fernsehempfang. Auch das »kontaktlose Halbleiterrelais« Triac liefert zunächst solche Störungen, wenn man ihn zu einem zufälligen Zeitpunkt einschaltet. Bei Phasenanschnittsteuerung schließlich kommt man nicht ohne Drossel und Kondensator aus. Doch für den Betrieb als reinen Lichtschalter kann man einen ständig fließenden Steuerstrom benutzen. Diese einfachste Lösung nach Bild 33 hat aber einen Nachteil: Dieser ständig fließende Strom im Steuerkreis mit seiner Verlustenergie im Begrenzungswiderstand ist gar nicht nötig – schmale Impulse reichen. Doch: Falls sie zufällig eintreffen, zündet der Triac irgendwo innerhalb der Netzspannungssinuskurve, und Störimpulse sind die Folge.

10.2. Nullspannungsschalter

Gelingt das Einschalten stets kurz nach dem Nulldurchgang, so hört man selbst in einem dicht neben die Schaltung gestellten Mittel- oder Langwellenempfänger so gut wie nichts. Es gibt viele Lösungen für diese Problematik. Die im folgenden beschriebene sieht zumindest ein wenig aufwendig aus. Sie hat jedoch den Vorteil, daß sich mit ihr zusammen zahlreiche spezielle Aufgaben lösen lassen. Außerdem »übt« sie den Einsatz von Optokopplern. Im Beispiel wurde ein handelsüblicher *MB 101* benutzt; Eigenbauten aus Infrarotbasteldiode und Fototransistor *SP 201* dürften preiswerter sein.

Die Schaltung benötigt, wie Bild 34 zeigt, eine Hilfsspannung aus einem Brückengleichrichter. Hinter ihm läßt sich eine 100-Hz-Halbwellenschwingung abgreifen, wenn zum eigentlichen Siebteil des Gleichrichters noch eine Diode zur Trennung eingesetzt wird. Sobald die Augenblickswechselspannung die Gleichrichterschwellspannungen und die Basis-Emitter-Spannung des Steuertransistors überschritten hat, erhält die Leuchtdiode des Optokopplers Strom. Ohne Komplikationen, wie sie bei galvanischer Kopplung bei Betrieb der übrigen Schaltung aus dem gleichen Transformator zustande kämen, steuert der Optokopplerausgang eine pnp/npn-Transistorkombination, mit der schließlich der Triac angesteuert wird. Das Besondere an dieser Schaltung geht aus den Impulsbildern nach Bild 34b hervor. Der Optokopplerausgang gibt den pnp-Transistor nur im Bereich des Nulldurchgangs frei. Der Triacsteuerstrom ist damit ein Strom aus schmalen Impulsen, die immer dort auftreten, wo die kleinste Augenblicksspannung gegeben ist. Der Zeitpunkt minimiert die Störungen, die geringe Breite senkt die Verlustenergie im Steuerkreis. Dieser jedoch läßt sich am Punkt St aktivieren oder sperren: L an St heißt Lampe aus, H Lampe ein.

10.3. Periodische Lichtklingel

Die einfachste Steuerung besteht aus einer Taste gegen Masse am Punkt St. Solange sie geschlossen ist, leuchtet die Lampe. Mehr Aufmerksamkeit würde aber Blinken erregen. Darum wird die Schaltung um einen Generator ergänzt. Bild 35 zeigt die relativ sparsame Lösung dafür mit einem *B 555 D*. Da es nicht auf hohe Konstanz der Blinkfrequenz (wenige Hertz) ankommt, wurde die Generatorschaltung modifiziert. Als Lade- und Entladepunkt fungiert der Gegentaktausgang O: Beim Entladeausgang OD dagegen wird dessen open-collector-Verhalten genutzt. Bei H an R setzt die Schwingung ein, bei L an R schalten die Ausgänge ebenfalls auf L. Das ist der Ruhezustand (Lampe aus). Gesteuert wird im einfachsten Fall mit einer Taste zwischen Plus und Eingang »I«. Dieser bietet bereits alle Voraussetzungen zum direkten Anklemmen an die Hausklingel. Die Diode läßt nur die Halbwellen passieren, und die Diode nach Plus baut Spannungen ab, die über der Versorgungsspannung liegen und den R-Eingang sonst gefährden könnten. Der Widerstand von höchstens 1 kΩ sichert L im Ruhezustand. (Der Strom aus *R* heraus kann relativ groß sein, und *U*4 muß zum Sperren unter 0,4 V sinken!) Der parallelliegende Kondensator soll Störimpulse auffangen, die auf die Zuleitung einwirken können und u. U. sonst die Schaltung auslösen. Der angegebene Wert darf nicht wesentlich überschritten werden, sonst reagiert R nicht mehr sauber – *U*4 darf sich nicht »schleichend« ändern, das wirkt sich auf die Ausgänge aus! Auch der 33-nF-Kondensator an der Gleichrichterbrücke ist für das Entstören der Schaltung wichtig.

10.4. Periodische Lichtklingel mit Signalverlängerung

Die Länge der Tastenbetätigung an der Hausklingel bestimmt die Blinkzeit der Lampe. Eine verlängerte Signalphase dürfte nützlich sein. Der R-Eingang scheidet dafür aus den soeben genannten Gründen aus. Darum nutzt man die Möglichkeiten billiger Bastelbeutelware. Schon der verwendete *B 555 D* kostet ja als R-Typ nur wenig mehr als 1 M. Man beachte aber seine teilweise reduzierten Daten!

Ähnlich geht es dem Hall-Trigger *B 461 G* (*R 461 D*). Da der *461* grundsätzlich mit nicht mehr als etwa 6 V betrieben werden sollte, auch eingangsseitig, muß man allerdings eine Z-Diode opfern. Das macht das Ganze etwas weniger rentabel. Daher kann im vorliegenden Fall auch ein Basteltransistor der Bauform *SF 126* mit seiner Basis-Emitter-Strecke in Sperrichtung aushelfen. Man legt ihn in Serie (!) zum positiven Anschluß des *461*. Sollten dort noch immer mehr als 6 V erscheinen, kann ggf. mit 1 oder 2 *SAY 30* o. ä. »nachgeholfen« werden.

Wozu aber der *461* überhaupt? Nun, auch er hat einen open-collector-Ausgang. Mit ihm läßt sich R des *555* auf L schalten. Voraussetzungen: H am Freigabeeingang und ein genügend großes, richtig gepoltes Magnetfeld. Letztgenanntes liefert ein kleiner Zylindermagnet aus dem *461*-Bastelbeutel, den man auf den Schaltkreis in richtiger Polung aufklebt. Vorher testen: 2 muß gegen 1 »Durchgang« zeigen (Plus an 2), wenn man eine Leuchtdiode mit etwa 470 Ω Vorwiderstand von der Betriebsspannung (bis +6 V) her mit Katode an 2 legt. Anschluß 3 bleibt dabei frei (gilt als H), und der Magnet wird versuchsweise in beiden Polrichtungen auf die Schaltkreismitte gesetzt. Leuchtet die Diode, so hat man die richtige Lage. Sie geht aus, wenn 3 mit 1 verbunden wird. Das ist also die neue Steuermöglichkeit. Aber mit einem großen Vorteil: Schon 2,2 μF an 3 gegen Masse bedeuten, daß H nach dem Einschalten erst innerhalb einiger Sekunden erreicht wird. Dann hat sich dieser Kondensator über einen intern an 3 liegenden Widerstand (man kann auch sagen, auf Grund eines aus 3 fließenden Stroms) so weit aufgeladen, daß Ausgang 2 durchschaltet. (Selbstverständlich kann man auch mit einem 2. *B 555 D* in Monoflopbeschaltung eine Zeitverzögerung erreichen.)

Die praktische Nutzung für die Gesamtschaltung geht aus Bild 36 hervor. Das ist eine »leiterplattenwürdige« Anwendung, und eine solche Platte bietet Bild 37.

11. typofix-Folie und Stücklisten

Die ätzfeste *typofix*-Folie für die Leiterplatten wird es auch diesmal geben, wenn auch (leider) nicht an jedem Ort. Auf das Bauelemente-Handelsangebot richtig zu reagieren aber erleichtert eine mitgebrachte Stückliste mit Soll- und Ausweichwerten. Das bieten die folgenden Aufstellungen. Wenn nicht anders vermerkt, haben die Widerstände die Baugrößen 2 × 7, 3 × 9 oder 3 × 11, es reichen meist mit 10% tolerierte Typen, und alle sind einfache Kohleschichtwiderstände.

Stückliste zu Bild 6/Bild 8

Analogkoppler für NF-Regelschaltungen

Widerstände

R1	2,2 MΩ
R2, R3	100 Ω
R4	1 kΩ
R5	82 Ω
R6	3,3...10 kΩ
R7 (FW)	Fotowiderstand, z. B. WK 65038 o. ä.

Kondensatoren

C1	470 μF/10 V, Elektrolytkondensator, liegend

Halbleiterbauelemente

VT1	npn-Transistor SC 236 d o. ä.
VT2	npn-Transistor SF 136 d o. ä.

Sonstiges

HL1	Kleinglühlampe 3,8 V/0,07 A

10 Stecklötösen
Leiterplatte nach Bild 8
Lichtdichte Kappe (siehe Text)

Stückliste zu Bild 11/Bild 12

Analog-Infrarotsender für Sprache und Musik

Widerstände

R1	680 kΩ
R2, R5	4,7 kΩ
R3	47...62 kΩ
R4	470 kΩ
R6	560 Ω
R7	22 kΩ
R8	47 Ω/0,33 W

Kondensatoren

C1, C4, C5	4,7 μF/40 V (40 V bauformbedingt), Elektrolytkondensator, stehend
C2	10 nF Keramik-Scheibenkondensator
C3	47μF/10 V, Elektrolytkondensator, liegend

(stehende Typen werden in Bild 12 liegend montiert!)

Halbleiterbauelemente

VT1, VT2	npn-Transistor SC 236 d o. ä.
VT3	npn-Transistor SF 136 d, SF 126 d o. ä.
VD1	Infrarot-Sendediode (VQ 125, VQ 123; VQ 110)

Sonstiges

4(6) Stecklötösen
Leiterplatte nach Bild 12
Bei Bedarf Stellwiderstand 100 kΩ als Teiler für Eingangssignal (extern)

Stückliste zu Bild 13/Bild 14

Analog-Infrarotempfänger für Sprache und Musik

Widerstände

R1	2,2...10 kΩ
R2, R3	150 kΩ
R4	1 MΩ
R5	1,5 kΩ
R6	1,2 kΩ

Kondensatoren

C1	680 pF...1μF, siehe Text, je nachdem Keramik-, MKT-, Elektrolytkondensator
C2	47 μF/10 V Elektrolytkondensator, stehend
C3	47 pF Keramik-Scheibenkondensator
C4, C5	100 μF/10 V Elektrolytkondensator, stehend

(stehende Typen werden in Bild 14 liegend montiert!)

Halbleiterbauelemente

VT1	Fototransistor (SP 201, 212, 213, 215)
A1	open-collector-Operationsverstärker B 761 D (B 861 D)

Sonstiges

BH1*	400-Ω-Kopfhörer (Stereo, auf Mono geschaltet)

4(6) Stecklötösen
Leiterplatte nach Bild 14
ggf. Sammellinse je nach Strecke, Einsatzfall und Bauelementedaten
* (außerhalb Leiterplatte)

Stückliste zu Bild 19/Bild 21

Digitaler Infrarotsender

Widerstände

R1	10 kΩ (Schichtdrehwiderstand Gr. 05 liegend)
R2	1 kΩ
R3	10 kΩ
R4	siehe Gleichungen in Bild 19

Kondensatoren

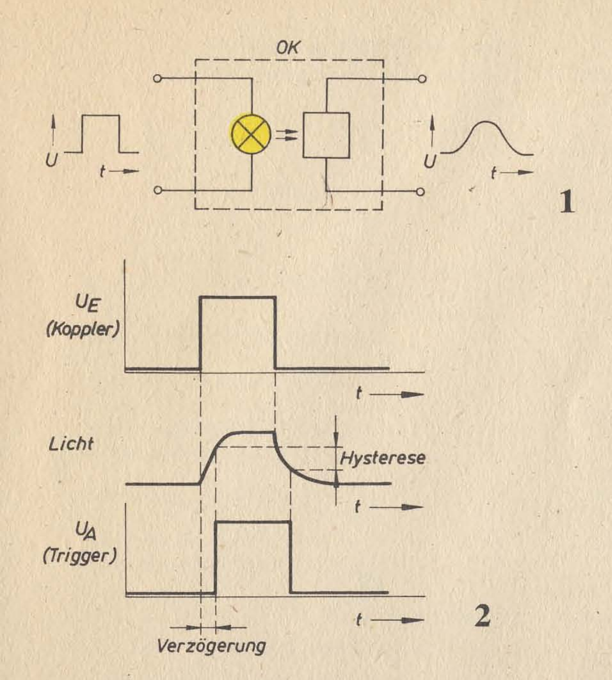
C1	(22...)100 nF, z. B. MKL-Kondensator
C2	10 nF Keramik-Scheibenkondensator

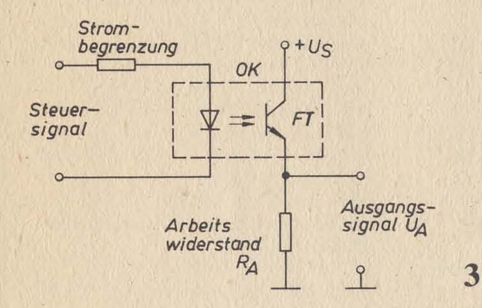
Halbleiterbauelemente

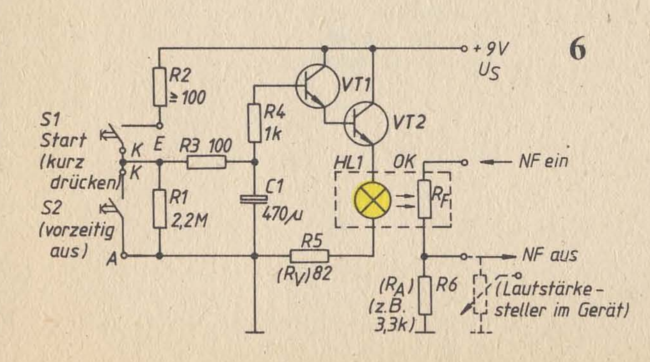
A1	Timerschaltkreis B 555 D
VD1	Infrarot-Sendediode (VQ 125, VQ 123, VQ 110)

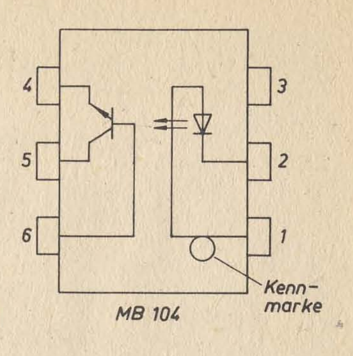
Sonstiges

2(4) Stecklötösen
Leiterplatte nach Bild 21









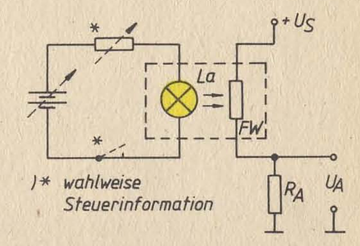


Bild 1
Optokoppler (OK): Gesteuerte Lichtquelle beeinflußt Lichtempfänger, der ein elektrisches Signal liefert (meist Hilfsenergie nötig)

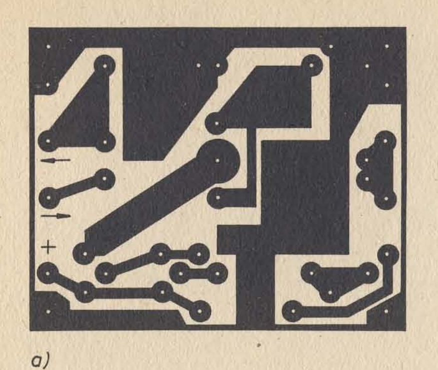
Bild 2
Ein Schmitt-Trigger (ST) regeneriert die ursprüngliche Kurvenform am Eingang des Optokopplers bei digitaler Übertragung

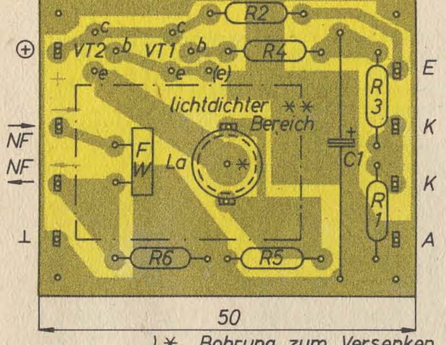
Bild 3
Optokoppler mit Fototransistor (FT)

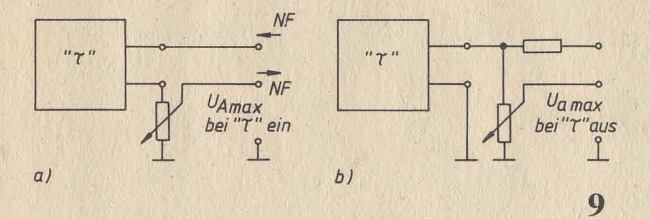
Bild 4
Bauform des Optokopplers *MB 104*

Bild 5
Für langsame Vorgänge geeigneter Optokoppler aus Lampe (La) und Fotowiderstand (FW)

Bild 6
Optokoppler nach Bild 5 als Kern einer Zeitautomatik zum Ändern des Pegels von NF-Signalen (»Einschlafhilfe«)







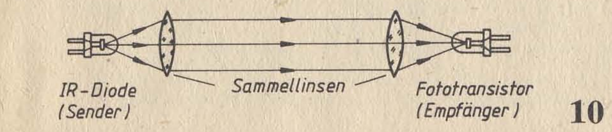


Bild 7
Kennlinien zur Schaltung nach Bild 6

Bild 8
Automatikmodul nach Bild 6; a – Leiterbild, b – Bestückungsplan

Bild 9
So kann der Modul in den NF-Teil beispielsweise eines Rundfunkempfängers eingebaut werden; a – volle Wiedergabe nur bei eingeschalteter Lampe, b – volle Wiedergabe nur bei ausgeschalteter Lampe

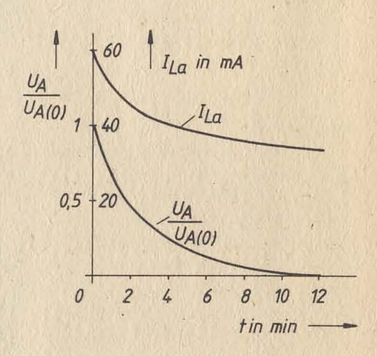
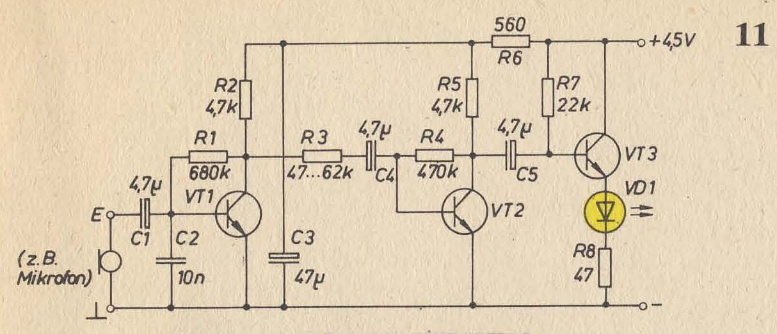


Bild 10
Optische Hilfsmittel zum Erhöhen der Reichweite; die Linsenwirkung der Gehäuse wurde (vereinfacht) nicht mit berücksichtigt

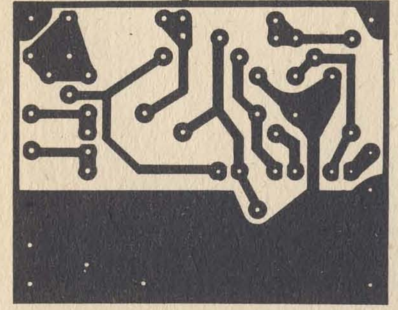
Bild 11
Infrarot-Senderschaltung für Übertragung von Sprache und Musik

Bild 12
Leiterplatte zu Bild 11; a – Leiterbild, b – Bestückungsplan

Bild 13
Empfänger für Infrarotlicht (680 p ist C 1!)

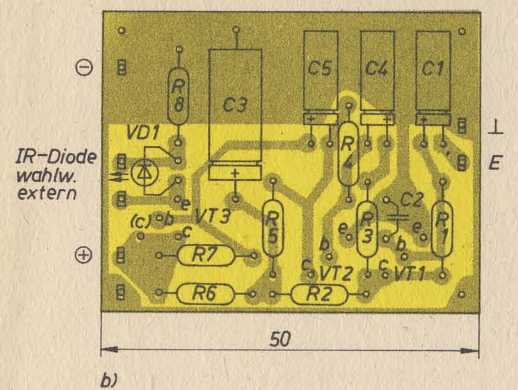


11



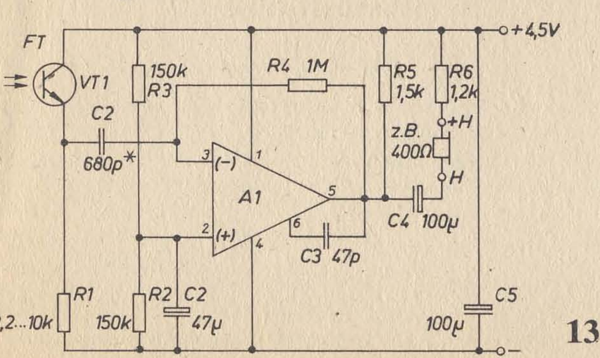
a)

12a



b)

12b



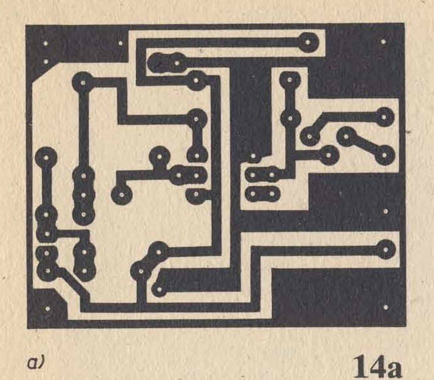
13

Bild 14
Leiterplatte zu Bild 13; a – Leiterbild, b – Bestückungsplan

Bild 15
Eingangsersatzschaltung des analogen Lichtempfängers

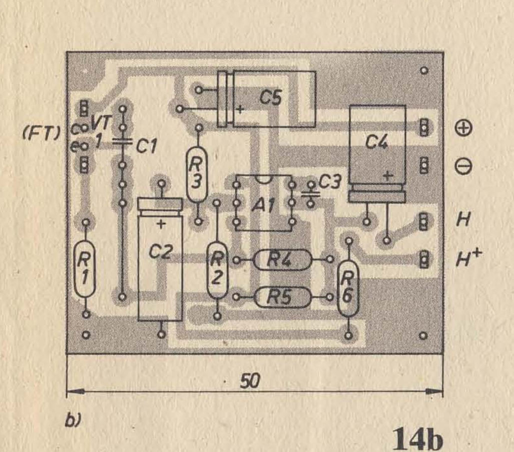
Bild 16
Gegen Umgebungslicht abgeschirmter Fototransistor

Bild 17
»Lichtkopf«sender für Betrieb an Leistungsverstärkern mit gleichstromfreiem Ausgang



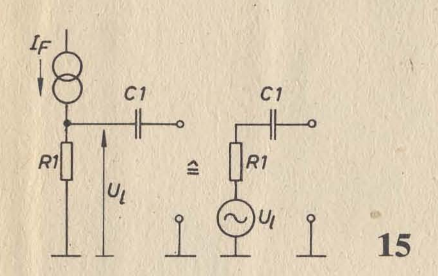
a)

14a



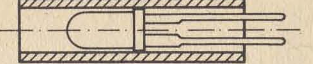
b)

14b

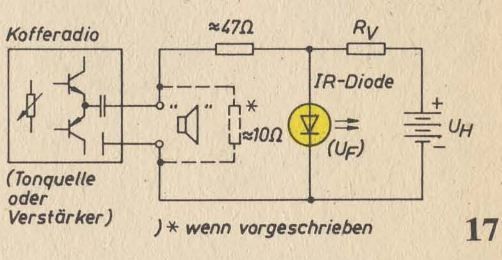


15

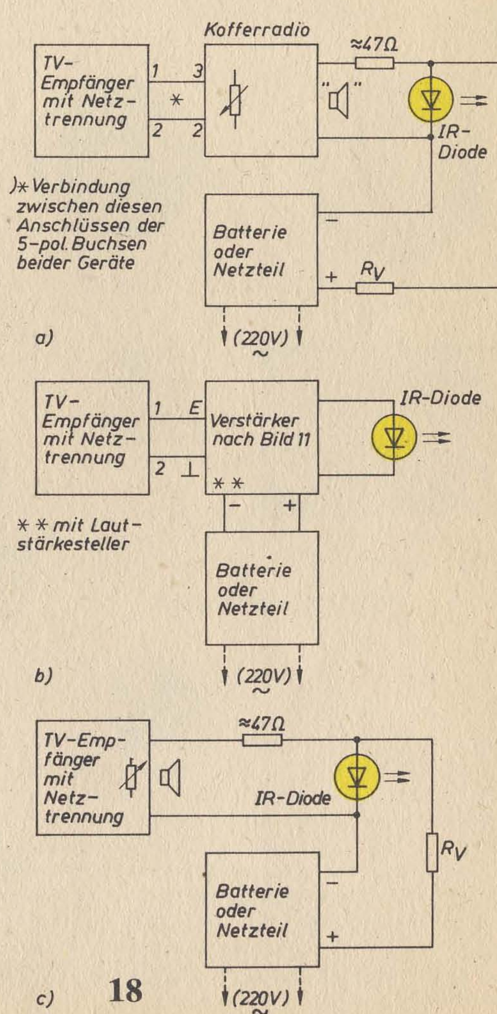
Bild 18
Vorschlag zur Lichtübertragung des Fernsehtons bei entsprechend eingerichtetem Fernsehempfänger; a – mit Lichtkopf nach Bild 17 und Kofferempfänger (Netztrennung!), b – mit Sender nach Bild 11 direkt an der Überspielbuchse, c – an der TV-Empfänger-Lautsprecherbuchse



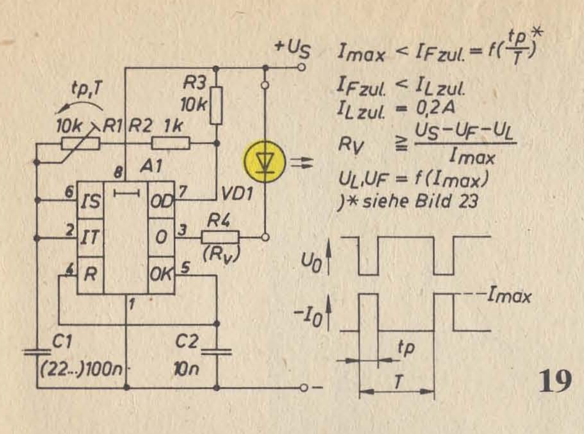
16



17



18



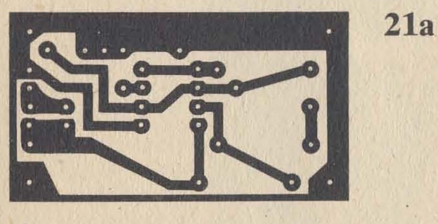
19

Bild 19
Infrarotimpulslichtsender mit Timerschaltkreis 555

Bild 20
So kann das Impulsverhältnis des digitalen Lichtsenders variiert werden. Allerdings verändert sich dabei auch die Frequenz

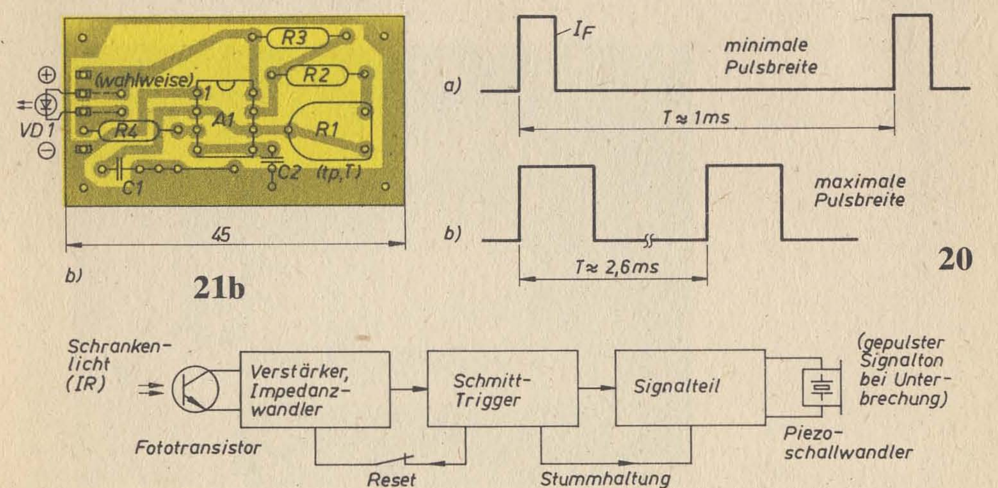
Bild 21
Leiterplatte zu Bild 19; a – Leiterbild, b – Bestückungsplan

Bild 22
Prinzip des Infrarotimpulslichtempfängers



21a

a)

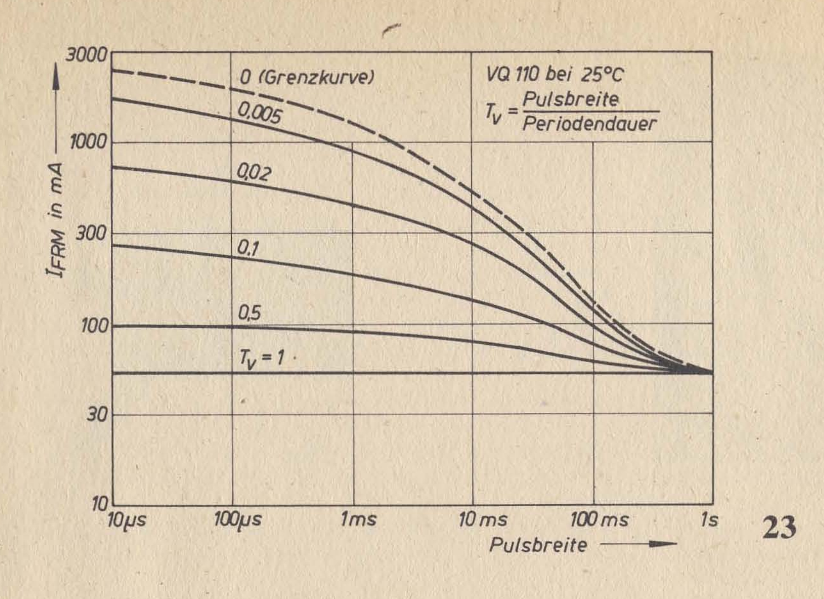


21b

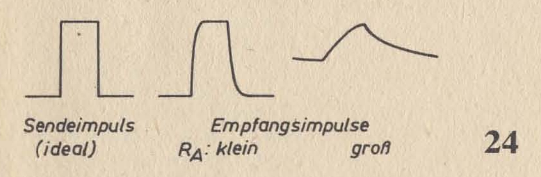
20



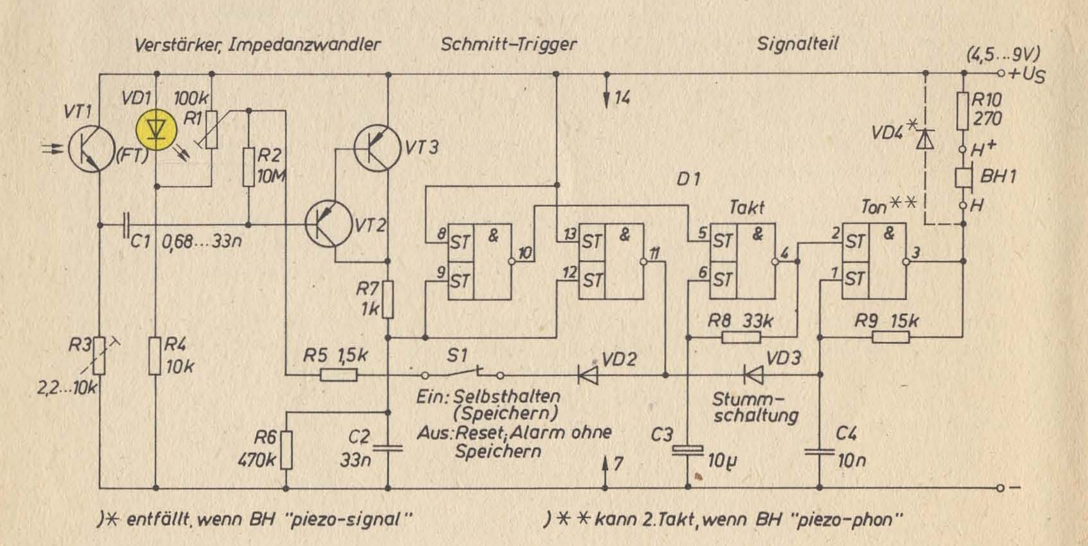
22



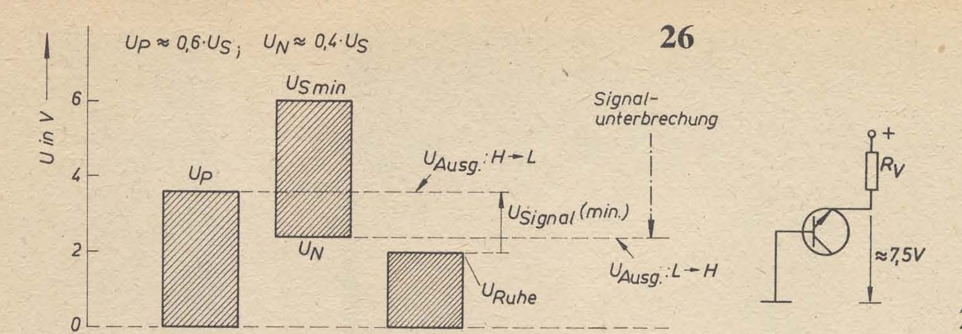
23

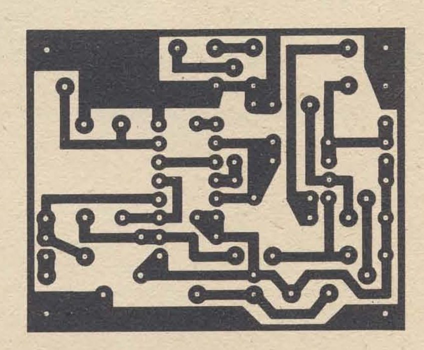


24



25





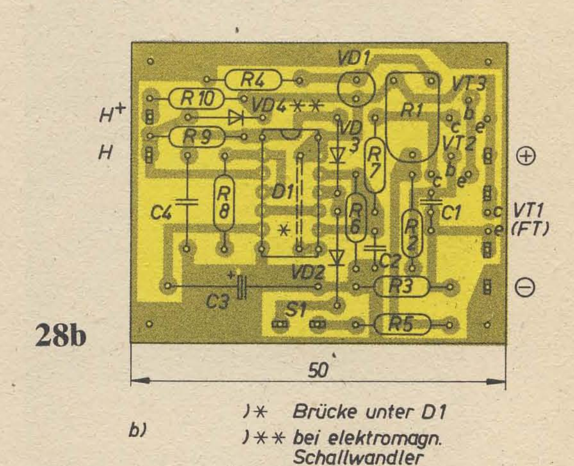


Bild 23
Zulässige Impulsströme der Infrarotdiode *VQ 110* in Abhängigkeit von Periodendauer und Impulsbreite

Bild 24
Große Werte des Arbeitswiderstands verändern infolge der Trägheit des Fototransistors die Kurvenform (schon im kHz-Bereich)

Bild 25
Gesamtschaltung des Empfängers nach dem Prinzip von Bild 22

Bild 26
In der Schaltung nach Bild 25 bei entsprechender Einstellung des Verstärkers gegebene Pegelverhältnisse für den *Schmitt*-Trigger

Bild 27
Stabilisieren auf etwa 7,5 V mit der Durchbruchsspannung einer Basis-Emitter-Diode.

Bild 28
Leiterplatte zu Bild 25; a – Leiterbild, b – Bestückungsplan

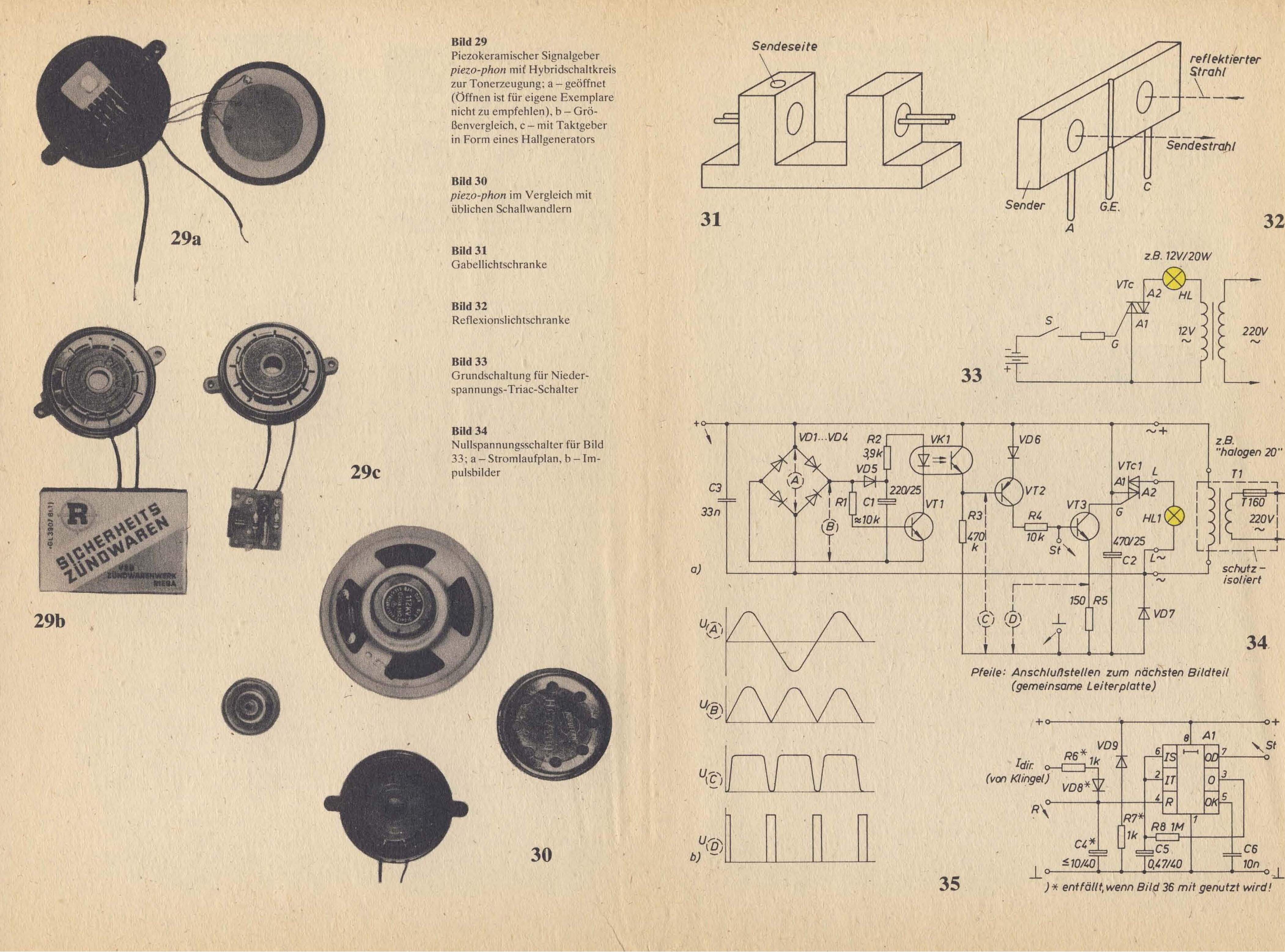


Bild 29
Piezokeramischer Signalgeber *piezo-phon* mit Hybridschaltkreis zur Tonerzeugung; a – geöffnet (Öffnen ist für eigene Exemplare nicht zu empfehlen), b – Größenvergleich, c – mit Taktgeber in Form eines Hallgenerators

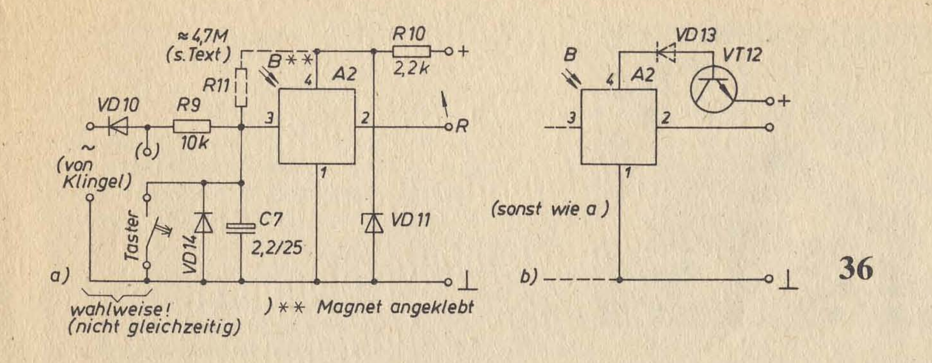
Bild 30
piezo-phon im Vergleich mit üblichen Schallwandlern

Bild 31
Gabellichtschranke

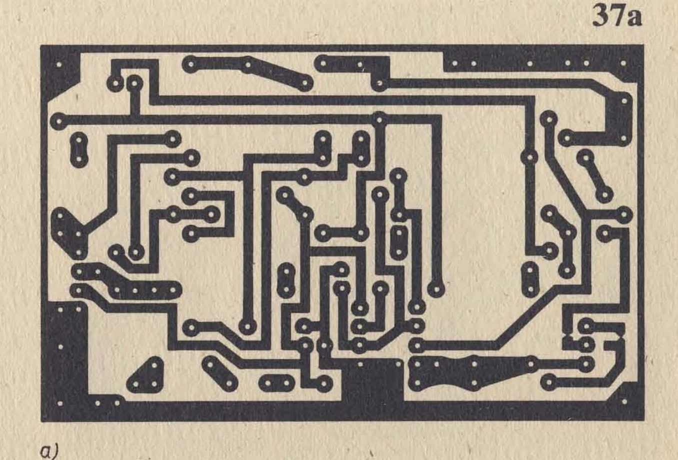
Bild 32
Reflexionslichtschranke

Bild 33
Grundschaltung für Niederspannungs-Triac-Schalter

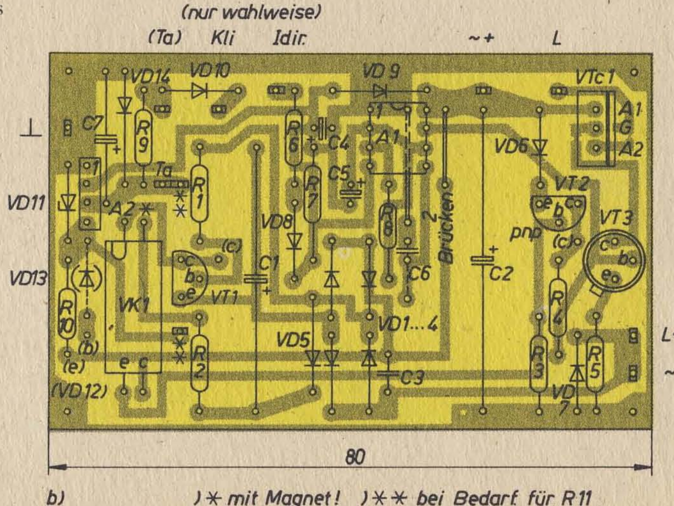
Bild 34
Nullspannungsschalter für Bild 33; a – Stromlaufplan, b – Impulsbilder



36



37a



37b

Bild 35
Unterbrechergenerator für Bild 34 (Punkt VD 9/R 7/R nachtragen!)

Bild 36
»Zeitverlängerungs«schaltung für Bild 34 und Bild 35; a – mit Z-Diode stabilisiert, b – Überspannungsschutz durch Serienschaltung einer Basis-Emitter-Diode in Sperr-Richtung (bei Bedarf zusätzlich Diode); R 11 bei Bedarf Reststrom-Kompensation für C 7; VT 12 ist VD 12

Bild 37
Leiterplatte zu den Bildern 34 bis 36; a – Leiterbild (leicht für andere Anschlußfolge von VTc 1 veränderbar!), b – Bestückungsplan

Stückliste zu Bild 25/Bild 28

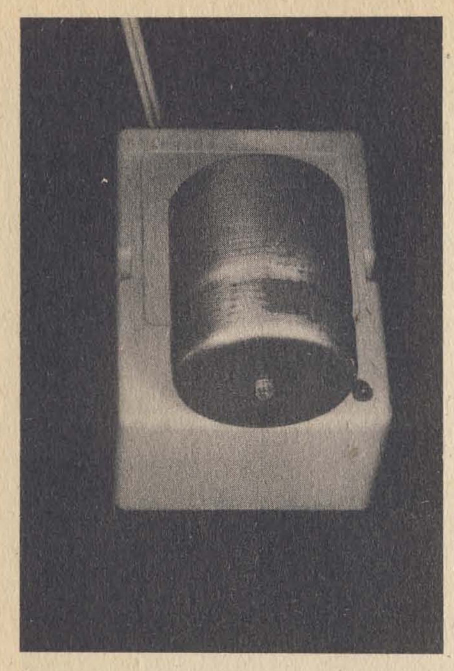
Digitaler Infrarotempfänger mit akustischem Signal und wahlweiser Alarmspeicherung

Widerstände	
R1	100 kΩ Schichtdrehwiderstand Gr. 05, liegend
R2	10 MΩ
R3	2,2...10 kΩ
R4	10 kΩ
R5	1,5 kΩ
R6	470 kΩ
R7	1 kΩ
R8	33 kΩ
R9	15 kΩ
R10	270 Ω
Kondensatoren	
C1	680 pF...33 nF Keramik-Scheibenkondensator (vergleiche Text)
C2	33 nF Keramik-Scheibenkondensator
C3	10 µF/10 V Elektrolytkondensator, liegend
C4	10 nF/63 V Kunstfoliekondensator
Halbleiterbauelemente	
VD1	Lichtemitterdiode VQA 13, VQA 15 o. ä.
VD2, VD3	Silizium-Schaltdiode SAY 20 o. ä., axial
VD4	Silizium-Schaltdiode SAY 16 o. ä., axial (entfällt, wenn BH1 Piezoschwinger)
VT1	Fototransistor (SP 201, 212, 213, 215)
D1	CMOS-Schmitt-Trigger-Schaltkreis U bzw. V 4093 D
Sonstiges	
BH1*	54-Ω-Hörkapsel oder Piezoschwinger *piezo-signal* (wenn *piezo-phon*, dann zusätzliche Toneffekte möglich)
6(8) Stecklötösen	
S1*	1poliger Einschalter, wenn Selbsthaltung gewünscht
Leiterplatte nach Bild 28	
ggf. Sammellinse	
* (außerhalb Leiterplatte)	

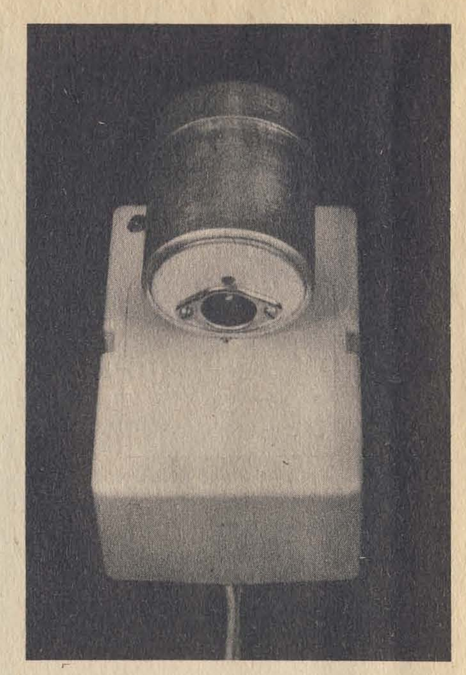
Stückliste zu Bild 34...36/Bild 37

Lichtklingel mit Triacausgang und Zeitglied

Widerstände	
R1, R4, R9	10 kΩ
R2	3,9 kΩ
R3	470 kΩ
R5	150 Ω/0,33 W
R6, R7	1 kΩ
R8	1 MΩ
R10	2,2 kΩ
R11	4,7 MΩ [R11 ≤ (U_S – 1,2 V)/$I_{Rest\,C7}$]
Kondensatoren	
C1	220 µF/25 V Elektrolytkondensator, liegend
C2	470 µF/25 V Elektrolytkondensator, liegend
C3	33 nF Keramik-Scheibenkondensator
C4	4,7...10 µF/40 V Elektrolytkondensator, stehend
C5	0,47 µF/40 V Elektrolytkondensator, stehend
C6	10 nF Keramik-Scheibenkondensator
C7	2,2 µF/25 V Elektrolytkondensator, liegend
Halbleiterbauelemente	
VD1...VD4, VD5, VD7	Silizium-Gleichrichterdiode SY 360/05
VD6, VD8, VD9, VD10, VD13, VD14	Silizium-Schaltdiode SAY 20 o. ä., axial
VD11	Silizium-Z-Diode SZX 19/5,1...5,6 (dann ohne VD12, VD13)
VD12	npn-Transistor SF 136 o. ä., nur be-Strecke benutzt (dann ohne R10, VD11)
VT1	npn-Transistor SC 236 d o. ä.
VT2	pnp-Transistor SC 307 d o. ä.
VT3	npn-Transistor SF 126 d o. ä.
VTc1	Triac für > 3 A, z. B. KT 207, KT 772 o. ä.
VK1	Optokoppler MB 101
A1	Timerschaltkreis B 555 D
A2	Hallschaltkreis B 461 G mit angeklebtem Magneten
Sonstiges	
HL1*	Effektlampe (Punktstrahler) 12 V/20 W
T1*	Transformator 220 V/12 V in Schutzgehäuse, für HL1
Zylindermagnet Ø 5 × 4 aus Bastelbeutel zum 461	
8 Stecklötösen	
Leiterplatte nach Bild 37	
* (außerhalb Leiterplatte)	



38a



38b



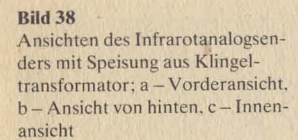
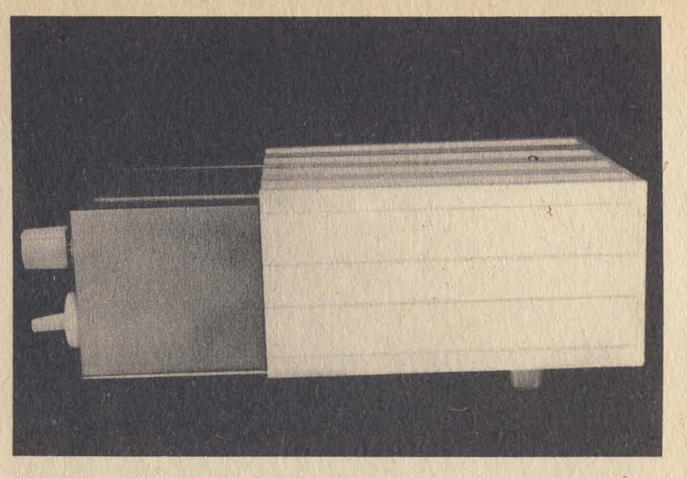


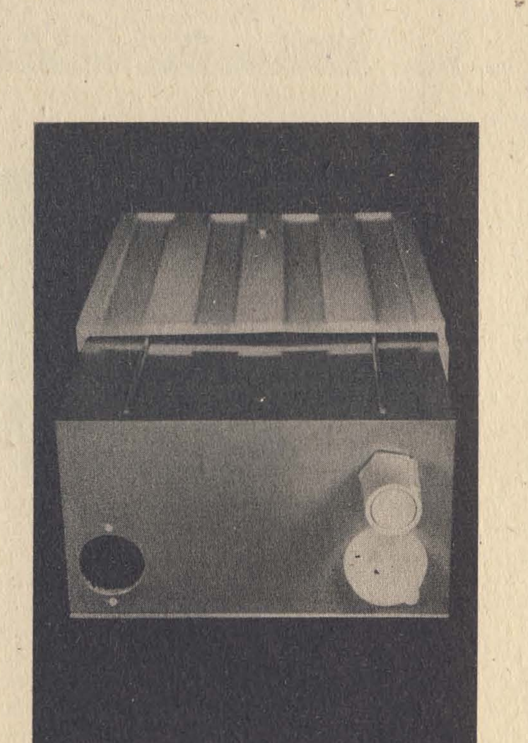
Bild 38
Ansichten des Infrarotanalogsenders mit Speisung aus Klingeltransformator; a – Vorderansicht, b – Ansicht von hinten, c – Innenansicht



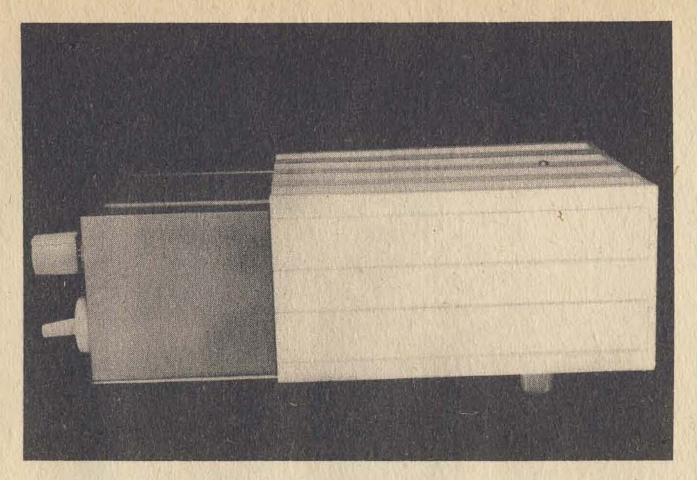
38c

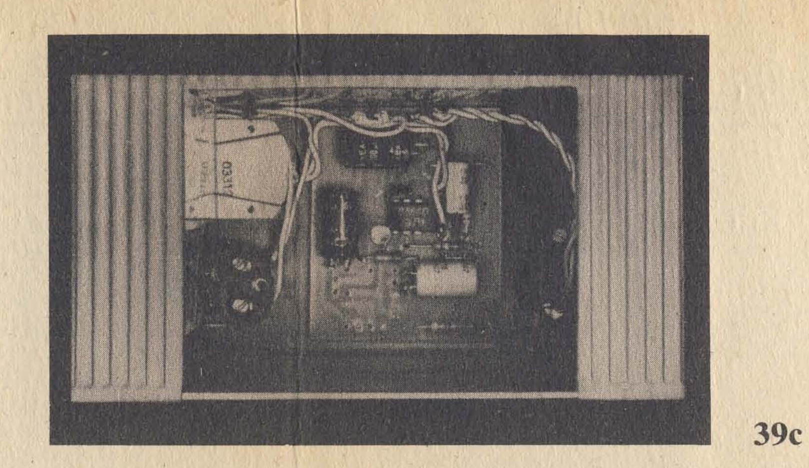


39a



39b


39a


39c

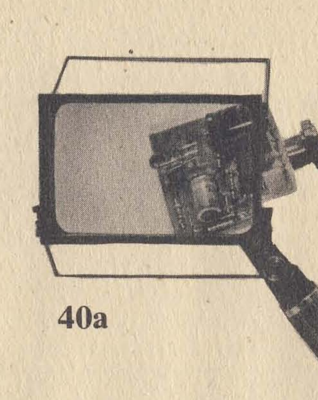
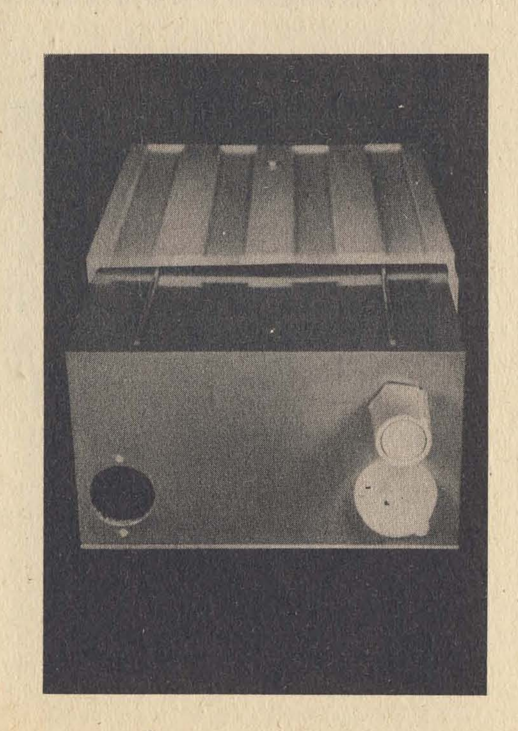
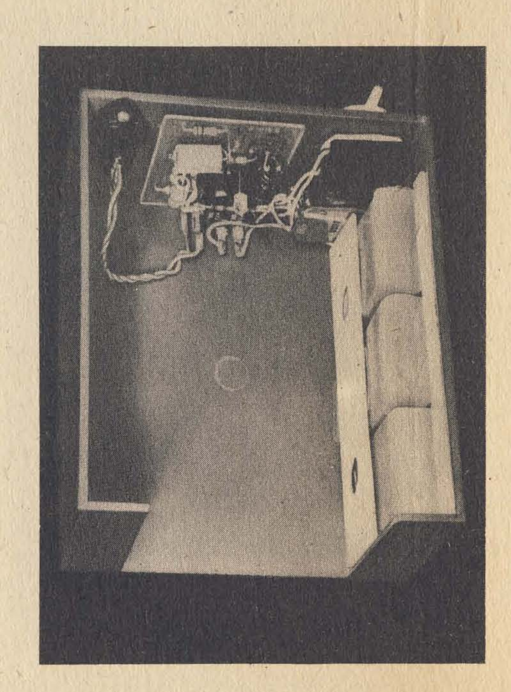
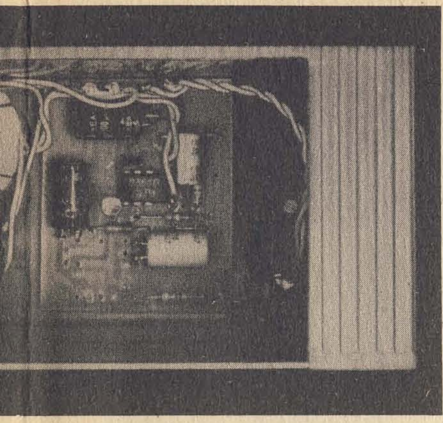

40a

Bild 39
Ansichten des Infrarotanalogempfängers für Kopfhörer; a – Seitenansicht mit verschiebbarem Leiterplattenteil, b – Ansicht von hinten mit Buchse, Schalter und Lautstärkesteller, c – Innenansicht; die Empfangsdiode steht senkrecht auf dieser Leiterplatte (Vormuster), d – diese Ansicht läßt auch die Batterie aus 3 × RZP 2 erkennen

Bild 40
Leselupe als wichtiges Bauteil des Infrarotempfängers nach Bild 39; a – Ursprungszustand, b – Griff abgeschraubt, c – in Gehäuse eingebaut (rechts unten Ausschnitt für Griffhalter, oben Mitte Schraube mit in Lupenrahmen geschnittenem Gewinde), d – betriebsfertig mit roter Folie

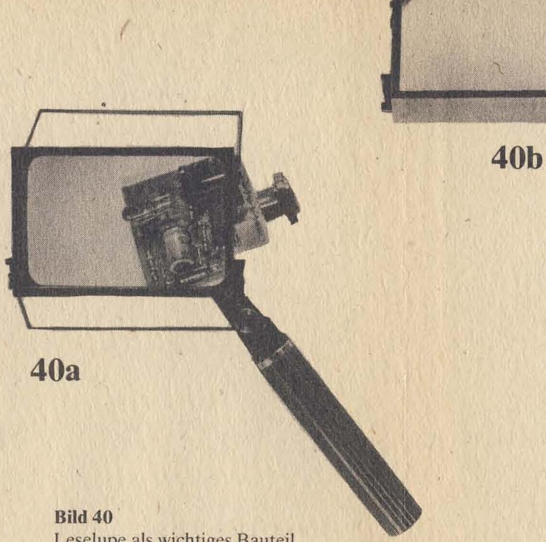

39b


39d



39c

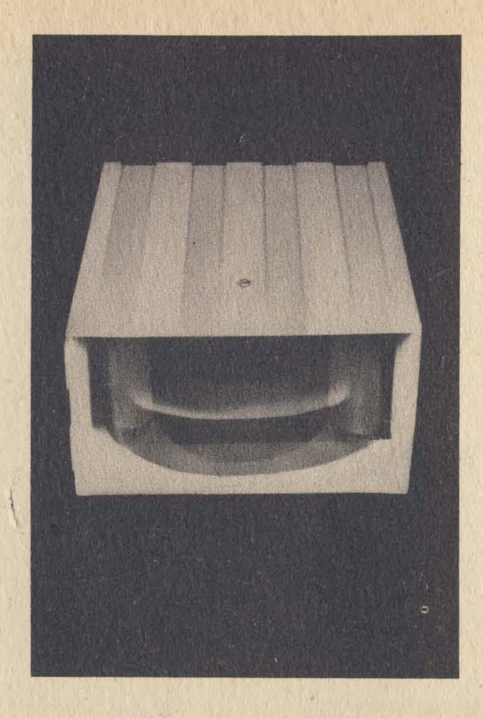
40b



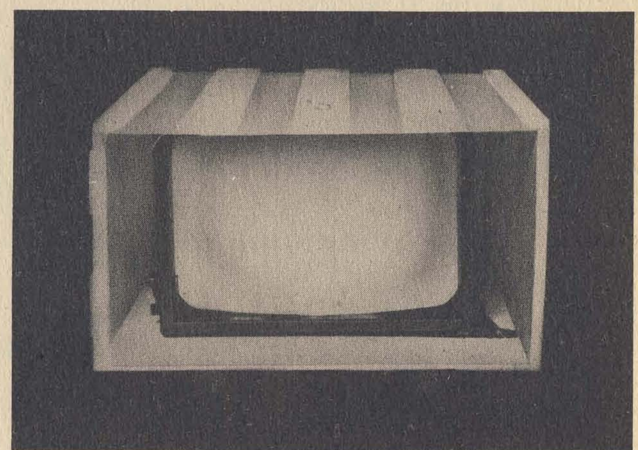
40a

Bild 39
Ansichten des Infrarotanalogempfängers für Kopfhörer; a – Seitenansicht mit verschiebbarem Leiterplattenteil, b – Ansicht von hinten mit Buchse, Schalter und Lautstärkesteller, c – Innenansicht; die Empfangsdiode steht senkrecht auf dieser Leiterplatte (Vormuster), d – diese Ansicht läßt auch die Batterie aus 3 × RZP 2 erkennen

Bild 40
Leselupe als wichtiges Bauteil des Infrarotempfängers nach Bild 39; a – Ursprungszustand, b – Griff abgeschraubt, c – in Gehäuse eingebaut (rechts unten Ausschnitt für Griffhalter, oben Mitte Schraube mit in Lupenrahmen geschnittenem Gewinde), d – betriebsfertig mit roter Folie



40d



40c

39d

Schlenzig, Klaus:
Licht-Mosaik. – Berlin: Militärverlag der DDR, 1986. – 32 S.: 40 Bilder (Originalbaupläne)

1. Auflage · © Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) – Berlin, 1986 · Lizenz-Nr. 5 · Printed in the German Democratic Republic · Gesamtherstellung: Grafischer Großbetrieb Sachsendruck Plauen · Lektor: Rainer Erlekampf · Typografie: Helmut Herrmann · Redaktionsschluß: 20. April 1985 · LSV 3539 · Bestellnummer: 746 795 1 · 00100